



Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente

**Cálculo das Emissões de Navios que Atracaram em
Portos Portugueses**

Jorge Miguel Gandra Dias

Dissertação submetida para a obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Orientador Académico - Sofia Isabel Vieira de Sousa

(Investigadora do LEPABE, Departamento de Engenharia Química da
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Co-Orientador académico: Maria da Conceição Machado Alvim Ferraz

(Professora Convidada da FEUP - aposentada)

julho de 2016

Agradecimentos

Começo esta parte por agradecer, primeiramente, aos meus orientadores, Doutora Sofia Sousa e Professora Maria Conceição Alvim Ferraz. Pelo material de trabalho que me foi fornecido, pela disponibilidade dada, apesar das dificuldades e pela paciência e prontidão em ajudar-me sempre que precisei, fica uma grande palavra de apreço.

Agradeço ao Rafael Nunes, cuja contribuição para parte prática desta dissertação foi crucial para que eu conseguisse atingir os meus objetivos. Pela disponibilidade e prontidão em ajudar-me, fica um obrigado.

À minha namorada Sofia Dias, pela enorme paciência que teve comigo nos momentos mais stressantes e por me ter dado ânimo para continuar. A esta pessoa devo muito e espero estar presente para poder ser eu a “aturá-la” quando chegar a sua vez.

Aos meus pais, avós e irmãos, que tantos jantares e almoços passaram sem mim, mas que sempre me motivaram com a alegria e brincadeira que lhes é tão característica.

Aos meus amigos e a quem, mesmo não sendo amigo, me marcou e fez parte deste percurso tão bonito que foram estes 5 anos. Porque se me marcou, aprendi alguma coisa.

E finalmente, à FEUP. Nesta grande casa, cresci muito a nível pessoal e académico. Desde a Sala de Ambiente até ao Cubo, da Associação de Estudantes até à Biblioteca, cada centímetro desta faculdade me lembra uma história ou um momento que me faz soltar um sorriso e uma certa saudade. Levo daqui ensinamentos, conhecimento, mas também amigos, momentos e valores morais que me levaram a ser a pessoa que sou hoje. A todo o universo FEUP, muito obrigado! Que se continuem a formar grandes Engenheiros e grandes Pessoas na nobre casa de Engenharia, a Luz da Academia.

Este trabalho foi financiado por: Projeto POCI-01-0145-FEDER-006939 - Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia - LEPABE - financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do COMPETE2020 - Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) e por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P..



Resumo

É hoje globalmente aceite que o transporte marítimo causa efeitos nocivos nas zonas costeiras. Assim, nesta dissertação, foi feita uma estimativa das emissões dos navios que atracaram em cinco portos portugueses, essencialmente durante os anos 2013 e 2014, incluindo emissões de CO₂, NO_x, SO₂, COV e PM.

A estimativa das emissões foi feita usando uma metodologia *Bottom-Up*, baseada em dados enviados pelos portos de Leixões (2013 e 2014), Setúbal (2013 e 2014), Figueira da Foz (2013), Viana do Castelo (2013 e 2014) e Sines (2013, 2014 e 2015). Recorreu-se aos dados fornecidos pelas autoridades portuárias para a estimativa dos tempos de operação de cada navio. Por outro lado, foram retirados valores de parâmetros técnicos definidos para cada categoria de navio de um estudo efetuado em 2010 pela Entec UK Limited. Finalmente, tendo todos os parâmetros necessários, foi efetuada uma estimativa de emissões de poluentes atmosféricos para três modos de operação: i) navegação; ii) manobras; e iii) atracado no porto.

Os portos com maior número de entradas foram Leixões e Sines. Para cada porto, de todos os parâmetros considerados para a quantificação das emissões, os mais influentes foram o tempo que cada navio passou em cada modo de operação e o número de entradas de navios, tendo as maiores quantidades de poluentes sido atribuídas, nos anos 2013 e 2014, ao porto de Leixões. Como esperado, os resultados indicaram também que o poluente libertado em maior quantidade foi o CO₂, cujas emissões corresponderam, em todos os portos e anos, a mais de 95% do total de emissões, seguindo-as as emissões de NO_x, SO₂, PM e COV.

Para os navios que atracaram nos portos de Leixões, Sines, e Setúbal, houve uma maior libertação de poluentes quando estes se encontravam em modo de navegação. Por outro lado, os navios que atracaram nos portos da Figueira da Foz e Viana do Castelo emitiram as maiores quantidades de poluentes quando se encontravam atracados.

Para o ano 2013, foram estimados os custos económicos referentes às externalidades causadas, em terra, pelas emissões de SO₂, NO_x, PM_{2,5} e COV pelos navios. No total, para todos os portos e poluentes, obteve-se um custo de danos de 287 139 434 €.

Por último, estimou-se que, para o ano 2013, se as quantidades de emissões de CO₂, NO_x e SO₂ obtidas nesta dissertação fossem tidas em consideração pelo estudo de quantificação de gases de efeito de estufa da Agência Portuguesa do Ambiente, a nível nacional, as quantidades totais sofreriam acréscimos de, respetivamente, 4,3%, 20,0% e 38,4%.

Palavras Chave - Navio, Emissões Atmosféricas, Fator de Emissão, Combustível, Modo de operação

Abstract

It is today globally accepted that shipping causes harmful effects close to coastal areas. Thus, this study aimed to estimate emissions from ships that have docked in five Portuguese ports, during the years 2013 and 2014, including emissions of CO₂, NO_x, SO₂, VOCS and PM.

The emission estimate was performed considering a Bottom-Up methodology, based on data supplied by the ports of Leixões (2013 and 2014), Setúbal (2013 and 2014), Figueira da Foz (2013), Viana do Castelo (2013 and 2014) and Sines (2013, 2014 and 2015). Data for the estimation of the operation time of each ship was provided by port authorities. On the other hand, technical parameters defined for each category of vessel were obtained from a study made in 2010 by *Entec UK Limited*. Finally, having all the required parameters, an estimation of air pollutants' emissions was made for three operation modes: i) cruise; II) maneuvers; and iii) at berth.

The ports with the highest number of entries were Leixões and Sines. For each port, of all parameters taken into consideration for the quantification of emissions, the most important ones were the time that each vessel spent in each mode of operation and the number of entries of vessels. So, the larger quantities of pollutants were assigned, in the years 2013 and 2014, to the port of Leixões. As expected, the results indicated that the pollutant released in greater quantity was CO₂, whose emissions corresponded, in all ports and years, to more than 95% of total emissions, followed by the emissions of NO_x, SO₂, PM and VOCS.

For ships that have docked in ports of Leixões and Sines, Setúbal, there was a greater release of pollutants when these were in cruise mode. On the other hand, ships have docked at ports of Figueira da Foz and Viana do Castelo issued the larger quantities of pollutants when they were docked.

For the year 2013, were estimated economic costs related to externalities caused on land, by emissions of SO₂, NO_x, PM_{2,5} and VOCS. In total, for all the ports and pollutants, it was obtained a cost of damages of € 287 139 434.

Finally, it has been estimated that, for the year 2013, if the amounts of emissions of CO₂, NO_x and SO₂ obtained in this essay were taken into account by the study of quantification of greenhouse gases of the Portuguese Environment Agency, at national level, the total amounts would suffer increases of, respectively, 4.3%, 20.0% and 38.4%.

Key words - Ship, Atmospheric Emissions, Emission Factor, Fuel, Operation Mode

Índice

1	Enquadramento	1
1.1	Relevância.....	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Organização da Dissertação	2
2	Introdução.....	3
2.1	Transporte Marítimo.....	3
2.2	Tipos de Combustível - Contexto histórico e atualidade	3
2.3	Emissão de Poluentes Atmosféricos	5
2.4	Medidas de Mitigação.....	11
2.5	Previsões	14
2.6	Legislação aplicável	15
2.7	Inventário de Emissões.....	17
2.8	Externalidades.....	23
3	Estado da Arte	25
3.1	Descrição Geral.....	31
3.2	Modos de Operação	33
3.3	Bases de dados utilizadas e informação sobre movimentos dos navios.....	34
3.4	Poluentes Analisados	36
3.5	Fatores de Emissão, Fatores de Carga e Combustíveis usados	36
3.6	Cálculo de Custos dos Danos das Emissões	38
4	Metodologia	41
4.1	Portos Analisados	41
4.1.1	Porto de Leixões	41
4.1.2	Porto de Setúbal	41
4.1.3	Porto da Figueira da Foz.....	41
4.1.4	Porto de Viana do Castelo	42
4.1.5	Porto de Sines	42

4.2	Escolha do método de cálculo a aplicar	42
4.3	Receção e análise dos registos das entradas de navios dos portos analisados ...	44
4.4	Estimativa dos custos associados.....	45
5	Resultados e Discussão.....	47
5.1	Cálculos Preliminares	47
5.2	Entradas de navios.....	59
5.3	Cálculo das emissões	62
5.3.1	Emissões Totais por Porto	62
5.3.2	Emissões Calculadas por Categoria de Navio.....	64
5.3.3	Emissões Calculadas por Modo de Operação	69
5.4	Estimativa de custos das emissões para 2013	72
5.5	Comparação com outros estudos.....	74
6	Conclusões e recomendações futuras.....	79
	Referências Bibliográficas.....	83
	Anexo A - Resumo dos Anexos I a V da MARPOL	91
	Anexo B - Classificação de navios utilizada	93

Índice de Figuras

<i>Figura 1 - Evolução das emissões mundiais da indústria marítima no período 2007-2012 de: a) CO₂, b) NO₂, c) SO₂, d) COVNM e e) PM (adaptado de IMO 2014)</i>	<i>10</i>
<i>Figura 2 - Visualização da página do Marine Traffic que permite analisar a posição de cada navio no globo terrestre (Marine Traffic)</i>	<i>48</i>
<i>Figura 3 - Visualização da página do Marine Traffic que permite a análise das características de cada navio (Marine Traffic)</i>	<i>49</i>
<i>Figura 4 - Visualização do menu principal do programa Tabela de Distâncias Dataloy</i>	<i>51</i>
<i>Figura 5 - Visualização da janela do Google Earth com a rota definida na Tabela de Distâncias Dataloy</i>	<i>52</i>
<i>Figura 6 - Ilustração da interface do Google Earth que fornece a distância total entre um porto pertencente à zona analisada (Viana do Castelo) e um porto que se localiza fora desta zona (La Rochelle) (Adaptado de Google Earth)</i>	<i>53</i>
<i>Figura 7 - Ilustração da interface do Google Earth que fornece a distância total entre um porto pertencente à zona analisada e um porto que se localiza fora desta zona, depois de “cortar” o percurso não relevante (Adaptado de Google Earth)</i>	<i>53</i>
<i>Figura 8 - Número de entradas por categoria de navio para os portos analisados em a) 2013; b) 2014 e c) 2015</i>	<i>60</i>
<i>Figura 9 - Emissões de poluentes (toneladas) consoante a categoria dos navios analisados em a) 2013; b) 2014 e c) 2015</i>	<i>65</i>
<i>Figura 10 - Emissões de poluentes (toneladas), exceto CO₂, consoante a categoria dos navios analisados em a) 2013; b) 2014 e c) 2015</i>	<i>66</i>
<i>Figura 11 - Emissões de poluentes (toneladas) consoante modo de operação em: a) 2013; b) 2014 e c) 2015</i>	<i>69</i>

Índice de Tabelas

<i>Tabela 1 - Características de combustíveis usados por navios (adaptado de ICCT 2007).....</i>	<i>4</i>
<i>Tabela 2 - Preços de IFO 380 e MGO em cidades europeias com porto (adaptado de Ship & Bunker, 2016).....</i>	<i>5</i>
<i>Tabela 3 - Valores-limite de enxofre e impostos pelo Regulamento 14 do Anexo VI da MARPOL (adaptado de IMO, 2016).....</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 4 - Valores-limite dos Fatores de Emissão de NO_x impostos pelo Regulamento 13 do Anexo VI da MARPOL (adaptado de IMO, 2016).....</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 5 - Período de inventariação, objetivo, fronteira e poluentes analisados dos estudos revistos</i>	<i>27</i>
<i>Tabela 6 - Categorias de navios e modos de operação analisados pelos estudos revistos</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 7 - Características dos registos de movimentos enviados pelas autoridades portuárias</i>	<i>44</i>
<i>Tabela 8 - Valores da Potência dos MP, MA e velocidades utilizadas para cada categoria (adaptado de Entec 2010)</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 9 - Tipo de combustível usado nos MP e MA, para cada categoria (adaptado de Entec 2010) ...</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 10 - Teor de enxofre assumido nos combustíveis usados, no ano de 2007 (adaptado de Entec 2010).....</i>	<i>56</i>
<i>Tabela 11 - Classificação das categorias analisadas consoante a GT (adptado de Entec 2010)</i>	<i>56</i>
<i>Tabela 12 - Fatores de Carga utilizados (Adaptados de Entec 2010)</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 13 - Fatores de Emissão (g/kWh) dos MP em navegação (adaptado de Entec 2010)</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 14 - Fatores de Emissão (g/kWh) dos MP em manobras e atracado (adaptado de Entec 2010) ..</i>	<i>58</i>
<i>Tabela 15 - Fatores de Emissão (g/kWh) dos MA (adaptado de Entec 2010)</i>	<i>58</i>
<i>Tabela 16 - Entradas dos navios nos portos analisados.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabela 17 - Emissões de cada poluente (toneladas) para cada porto em 2013</i>	<i>62</i>
<i>Tabela 18 - Emissões de cada poluente (toneladas) para cada porto em 2014</i>	<i>63</i>
<i>Tabela 19 - Emissões de cada poluente (toneladas) para o porto de Sines em 2015.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabela 20 - Emissões totais de poluentes (toneladas) por categoria de navio.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 21 - Tempos médios dos navios nos modos atracado e navegação (hora), para cada porto, nos anos considerados</i>	<i>70</i>
<i>Tabela 22 - Valores dos FCE rurais utilizados (€/ton) (Holland e Watkiss, 2002)</i>	<i>72</i>
<i>Tabela 23 - Valores dos FCE locais utilizados (€/ton) (adaptado de Holland e Watkiss, 2002)</i>	<i>72</i>
<i>Tabela 24 - Valores dos FCE locais utilizados (€/ton) (adaptado de Holland e Watkiss, 2002; Censos 2011, 2011)</i>	<i>73</i>

Tabela 25 - Emissões de poluentes nos modos atracado e em manobras (toneladas) e representação dos FCE totais (€/ton) para 2013 73

Tabela 26 - Custo das emissões de cada poluente nos modos atracado e em manobras nos portos analisados e valor do custo total associado a cada porto (em euros) para 2013 74

Tabela 27 - Influência que os valores das estimativas de CO₂, SO₂ e NO_x efetuada na presente dissertação teriam se tivessem sido consideradas no estudo efetuado pela APA (2015b) 76

Abreviaturas

AEC- Área de Emissão Controlada

AIS- Sistema de Identificação Automática

APA - Agência Portuguesa do Ambiente

APP - Associação de Portos de Portugal

BDNL - Base de Dados de Navios da Lloyd's

COV - Compostos Orgânicos Voláteis

COVNM - Compostos Orgânicos Voláteis Excluindo Metano

TDD - Tabela de Distâncias da Dataloy

FC - Fator de carga

FCE - Fator de Custo Externo

FE - Fator de emissão

GT - Tonelagem Bruta do Navio

GEE - Gases de Efeito de Estufa

HSD - Motor a diesel de alta velocidade

IFO -Fuel Óleo Intermédio

MARPOL - Convenção Internacional para a Prevenção de Poluição por Navios

MDO - Diesel marítimo

MGO - Gasóleo Marítimo

MA - Motor Auxiliar

MP - Motor Principal

MSD - Motor a diesel de média velocidade

PM - Partículas em Suspensão

PM_{2,5} - Partículas em Suspensão com diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 µm

PM₁₀ - Partículas em Suspensão com diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm

RO - Óleo Residual

SSD - Motor a diesel de baixa velocidade

USEPA - United States Environmental Protection Agency

1 Enquadramento

1.1 Relevância

A presente dissertação foi elaborada em ambiente académico, no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

O transporte marítimo é, hoje em dia, utilizado largamente como meio de transporte, não só de pessoas como de mercadorias. Movimenta cerca de 90% das mercadorias a nível mundial, das mais variadas categorias, tais como vestuário, brinquedos, utensílios, entre outros (Sardinha 2013a). No entanto, a dominância crescente associada ao transporte marítimo, causando uma crescente produção de emissões gasosas, chamaram a atenção para esta fonte de poluentes (Saraçoğlu et al. 2013).

É hoje globalmente aceite que o transporte marítimo causa efeitos nocivos nas proximidades de onde é efetuado, mais especificamente, nas zonas costeiras. Sendo Portugal um país com 942 km de costa com uma elevada atividade no setor marítimo e sendo as zonas do litoral, por norma, aquelas que maior densidade populacional apresentam, torna-se necessário implementar metodologias que quantifiquem as emissões de poluentes resultantes da queima do combustível utilizado pelos navios, cuja legislação em vigor não é tão exigente como a que regula o uso dos combustíveis para meios de transporte terrestre.

Em Portugal, foram até agora elaborados dois estudos que quantificaram poluentes associados ao transporte marítimo. Um estudo efetuado pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA 2015a), efetuado em 2015, contabilizou as emissões de 13 portos portugueses, para navios que navegassem entre portos portugueses, tendo este estudo incidido no intervalo de tempo 1990 - 2013. No entanto, além de ter analisado unicamente o modo de navegação dos navios, este estudo apenas quantificou as emissões de três poluentes: Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4) e Óxido Nitroso (N_2O). O outro estudo que quantificou as emissões de navios foi efetuado pela Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte (CCDRN 2009), tendo analisado as emissões de navios no porto de Leixões referentes ao ano 2008, nos modos de manobras, atracados e cargas/descargas (este último aplicado aos navios cisterna). Foram, neste estudo quantificadas as emissões de CO_2 , Dióxido de Enxofre (SO_2), Óxidos de Azoto (NO_x), Compostos Orgânicos Voláteis (COV) e Partículas em Suspensão (PM).

Esta dissertação é, até à data em que foi efetuada, a primeira que inclui as emissões de navios em portos portugueses numa maior variedade de modos de operação, para cinco poluentes e que considera diferentes parâmetros relacionados com as características de cada

navio. Apesar de várias suposições serem efetuadas, aborda uma maior quantidade de variáveis e pormenorização do que os dois estudos acima referidos, efetuados com o mesmo objetivo.

1.2 Objetivos

Com este trabalho, pretendeu-se quantificar os poluentes libertados pela queima dos combustíveis utilizados pelos navios, nomeadamente SO₂, CO₂, NO_x, PM e COV, que atracaram em cinco portos portugueses, essencialmente em 2013 e 2014, operando em diferentes modos. Pretendeu-se ainda efetuar uma análise de custos de danos associados à emissão de cada um destes poluentes para o ano 2013.

1.3 Organização da Dissertação

Esta dissertação encontra-se organizada em 6 capítulos principais. No presente capítulo (1), pode ser analisado o Enquadramento, no qual estão incluídos a relevância do estudo efetuado, os objetivos e a organização da mesma.

No capítulo 2 está presente a Introdução a esta dissertação, na qual é efetuada uma contextualização acerca do transporte marítimo, dos poluentes analisados neste estudo, das variáveis utilizadas na quantificação das emissões, da legislação que vigora sobre o transporte marítimo e sobre as metodologias utilizadas para a quantificação de emissões do setor marítimo.

O capítulo 3 diz respeito ao Estado de Arte relativo à quantificação de emissões de navios, estando dividido em 6 secções: i) Descrição Geral; ii) Modos de Operação; iii) Bases de dados utilizadas e Informação sobre Tempos e Velocidades; iv) Poluentes Analisados; v) Fatores de Emissão e vi) Cálculo de Custos Externos.

A Metodologia utilizada para a quantificação das emissões dos navios encontra-se explicada no capítulo 4. Além da quantificação das emissões, é também explicado o método de quantificação de custos económicos causados pelas emissões dos navios.

No capítulo 5 são apresentados e comentados os resultados obtidos, referentes às quantificações das emissões e ao cálculo dos custos das mesmas. São analisadas, para cada ano e porto, o número de entradas, as distribuições de categorias de navios e de poluentes emitidos, consoante o modo de operação.

Por último, no capítulo 6 são apresentadas as principais conclusões retiradas desta dissertação, bem como as principais limitações encontradas e recomendações para futuros trabalhos nesta área.

2 Introdução

2.1 Transporte Marítimo

O transporte por via marítima é hoje em dia largamente utilizado. Segundo a Agência Internacional de Transporte Marítimo (ICS, do inglês *International Chamber of Shipping*) é o modo de transporte responsável pela movimentação de cerca de 90% em volume de mercadoria a nível global (ICS, 2015). Analogamente, um estudo efetuado em 2013 concluiu que mais do que 80% em peso daquilo que é o total da mercadoria transportada nesse ano foi também movimentada recorrendo a este modo de transporte (Saraçoğlu et al. 2013). Tendo a evolução da frota marítima mundial uma relação direta com o desenvolvimento da economia mundial estas percentagens têm vindo a subir gradualmente ao longo dos anos (Deniz e Kilic 2010; Saraçoğlu et al. 2013).

O comércio internacional, o transporte a granel de diversos tipos de mercadoria, de alimentos, e mesmo de pessoas dependem do meio marítimo, que apresenta vantagens relativamente a outros meios de transporte: i) consegue transportar cargas e quantidades de materiais/pessoas que dificilmente seria possível em meios de transporte terrestre sem custos extremos em vias de circulação; e ii) é um meio relativamente rápido, pois muitas vezes, a via marítima revela-se como uma alternativa mais direta entre uma origem e um destino de transporte (Deniz e Kilic 2010; ICS 2014).

O transporte marítimo é, portanto, considerado o meio de transporte energeticamente mais eficaz, com potencialidade de contribuir significativamente no setor em que está incluído (Saraçoğlu et al. 2013).

Atualmente há mais de 50 000 embarcações de transporte de mercadorias, registadas em mais de 150 países (ICS 2015). No caso específico de Portugal em 2013, segundo o Relatório do Estado do Ambiente de 2015 efetuado pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA), 21,3 milhões de toneladas foram exportadas por via marítima, correspondendo a 58% do total do que foi exportado pelo país. Por outro lado, o transporte marítimo foi também responsável pelo tráfego de 33,3 milhões de toneladas de mercadoria importada, correspondendo a 64,8% do total de mercadoria importada, a nível nacional (APA 2015b).

2.2 Tipos de Combustível - Contexto histórico e atualidade

Por volta de 1950, uma série de desenvolvimentos tecnológicos permitiu o uso de óleos pesados como combustível dos motores dos navios (ICCT 2007; Guent 2012). Os navios com motores a diesel que usavam Óleo Residual (RO, do inglês *Residual Oil*) ganharam popularidade e, na segunda metade do ano de 1960, o número de navios com este tipo de motor eram

superiores aos dos movidos a turbinas. No início do século XXI, esta classe de navios perfazia 98% da frota mundial (Guent 2012).

O RO, com teor de enxofre que varia normalmente entre 2,4 e 2,7% tem sido o combustível mais usado no transporte marítimo (Eyring et al. 2010). De acordo com um estudo efetuado pela Organização Marítima Internacional (IMO, do inglês *International Maritime Organization*), foi estimado que, em 2007, o teor médio mundial de enxofre no RO usado pelos navios foi de 2,42%, um valor muito mais elevado do que o permitido no diesel utilizado em veículos terrestres (Yau et al. 2012). Este tipo de combustível é o resíduo dos processos de destilação que ocorrem nas refinarias, apresentando alta viscosidade à temperatura ambiente (25°C), requerendo um pré-aquecimento para passar a um estado líquido para poder ser utilizado, segundo um estudo efetuado pelo Conselho Internacional do Transporte Limpo (ICCT, do inglês *International Council on Clean Transportation*) (ICCT 2007). Apesar de ser relativamente barato e estar largamente disponível, os efeitos nocivos para o ambiente e para a saúde que as emissões atmosféricas da combustão deste tipo de combustível causam têm motivado a busca de substituintes, como diesel marítimo (MDO) e gasóleo marítimo (MGO) (Festraets et al. 1999; ICCT 2007). O MDO contém uma pequena porção de RO com combustível destilado, enquanto o MGO é um combustível destilado, sem mistura com RO (ICCT 2007). Estes combustíveis contêm teores médios de enxofre de, respetivamente, 1,5% e 0,1% (Entec 2010). A designação de fuel óleo intermédio (IFO, do inglês *Intermediate Fuel Oil*) é utilizada para a junção de uma parte maioritária de RO com combustíveis mais leves (ICCT 2007).

Na Tabela 1 estão discriminados os combustíveis acima referidos com as respetivas características, adaptados de (ICCT 2007) e, na Tabela 2, podem ser observados os preços de dois destes tipos de combustíveis em cidades europeias, atualizados no dia 26 de maio de 2016.

Tabela 1 - Características de combustíveis usados por navios (adaptado de ICCT 2007)

Designação	Composição
IFO 380	98% RO e 2% Combustível destilado
IFO 180	88% RO e 12% Combustível destilado
MDO	Combustível destilado com pequena fração de RO
MGO	Combustível destilado

Tabela 2 - Preços de IFO 380 e MGO em cidades europeias com porto (adaptado de Ship & Bunker, 2016)

Cidade	Preço (€)	
	IFO 380	MGO
Antuérpia	199,27	394,49
Falmouth	243,8	478,61
Gotemburgo	209,62	539,79
Hamburgo	204,67	407,09
Las Palmas	221,31	430,03
Lisboa	220,41	443,52
Roterdão	200,17	396,29
S. Petersburgo	141,24	337,37
Tenerife	221,31	430,03

Efetivamente, constata-se que quanto menos poluente /mais destilado for o combustível usado, mais dispendioso é. Em média, nas cidades analisadas, o MGO é cerca de 107% mais caro que o IFO380, o que se tem revelado um fator importante que explica parcialmente porque as companhias marítimas optam por combustíveis mais poluentes.

2.3 Emissão de Poluentes Atmosféricos

O número crescente de movimentos utilizando o meio marítimo foi, conseqüentemente, causando uma quantidade de emissões gasosas crescente, que chamaram a atenção para esta fonte de poluentes (Saraçoğlu et al. 2013).

Apesar de o transporte marítimo ser uma opção de transporte eficaz, as emissões resultantes da atividade dos navios contribuem significativamente para o total das emissões no setor dos transportes, a nível global (Eyring et al. 2010; Yau et al. 2012; Saraçoğlu et al. 2013). Isto porque os navios usam motores potentes que, muitas vezes, utilizam combustíveis pesados, ricos em poluentes atmosféricos. O facto de as emissões de poluentes por parte dos navios não terem uma legislação tão exigente como a aplicável aos meios de transporte terrestre contribui para uma menor obrigação de diminuição de emissões (Deniz et al. 2010; Ng et al. 2013; Saraçoğlu et al. 2013), o que faz dos navios os meios de transporte com a maior taxa de produção de poluentes por unidade de combustível consumido (Corbett et al. 1999).

Um estudo efetuado em 2010 destaca os cruzeiros/navios de passageiros como o tipo de navio que mais combustível consome, por causa da forte propulsão e energia requerida para

satisfazer as necessidades de hotelaria (eletricidade, aquecimento) que um navio normal não exige (Howitt et al. 2010; Dragović et al. 2015).

Por outro lado, um estudo efetuado em 2010 afirma que os navios transportadores de mercadorias percorrem, normalmente, os mesmos percursos, tendendo as emissões a concentrarem-se nestas rotas (Deniz e Kilic 2010). No entanto, as emissões dos navios são facilmente transportadas na atmosfera para longas distâncias, do mar para terra e também de um continente para outro (Li et al. 2002). Assim, os impactes causados pelas emissões de navios são notados desde escalas regionais até globais (Deniz e Kilic 2010; Eyring et al. 2010).

Apesar das emissões de navios em portos contribuírem com uma pequena percentagem para a totalidade das emissões de navios a nível global (Dalsøren et al. 2009), a maior parte dos portos fica localizada em grandes cidades ou zonas de elevada densidade populacional, podendo então as emissões nos portos ou perto destes afetar diretamente a população residente nas proximidades (Sharma 2006; Corbett et al. 2007; ICCT 2007). Por outro lado, um estudo elaborado em 1997 por James J. Corbett concluiu que cerca de 70% das emissões causadas por transporte marítimo ocorrem a menos de 400 km das costas, sendo esta premissa globalmente aceite hoje em dia (Eyring et al. 2010; Song 2013). Adicionalmente, um estudo efetuado no porto de Roterdão (Hulskotte and Denier van der Gon 2010), com o objetivo de estimar as emissões de navios no porto, de acordo com o consumo e a qualidade do combustível dos mesmos, afirmou que as emissões de um navio atracado num porto são as mais críticas, quando comparadas às emissões provenientes de um outro modo de operação. Tal afirmação foi explicada pelo facto de a maioria dos navios analisados costumar estar atracado mais que um dia, ao passo que o tempo ocupado em manobras para atracar é, tipicamente, duas horas. No entanto, foi observado que o tempo que um navio passava atracado não era sempre diretamente proporcional às emissões gasosas. O mesmo estudo adiantou ainda que os navios analisados, mesmo atracados, consumiam quantidades consideráveis de RO, o que contrariava a ideia anterior de que os mesmos navios consumiriam, no mesmo modo, combustíveis destilados (Hulskotte e Denier van der Gon 2010).

Os poluentes mais comumente analisados emitidos por navios são : i) CO₂, ;ii) SO₂; iii) NO_x; iv) COV e v) PM, embora sejam emitidos outros, como o óxido nitroso (N₂O), monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC) (Eyring et al. 2010; Saraçoğlu et al. 2013; Song 2013).

CO₂

O CO₂ é um gás de efeito de estufa (GEE) que resulta da queima de combustíveis fósseis, contribuindo o transporte marítimo com cerca de 2,1% para o total das emissões deste poluente a nível mundial, segundo a Associação Mundial de Transporte Marítimo (WSC, do inglês *World Shipping Council*) (WSC 2016). Além do impacto que os GEE têm na composição atmosférica,

têm também impactes ambientais (Eyring et al. 2010). Segundo um estudo efetuado em 2010 (Eyring et al. 2010), o CO₂ consegue manter-se na atmosfera durante um longo período de tempo, quando comparado com outros poluentes, pelo que os seus efeitos de aquecimento atmosférico duram muito tempo após a sua emissão. O estudo assume mesmo que a minimização de emissão de poluentes como os NO_x, SO₂ e PM terá efeitos benéficos na qualidade do ar e diminuirá fenómenos de acidificação e eutrofização, mas as reduções de todas as fontes de emissão de CO₂, marítimas e de outros tipos de transporte, causarão a maior redução a longo prazo do aquecimento global (Eyring et al. 2010). O aquecimento global pode causar, por exemplo: i) degelo de certas regiões, que levará ao aumento do nível médio de água no mar, promovendo uma maior ocorrência de inundações; e ii) intensificação de fenómenos como tornados e tempestades. A um nível mais geral, o aquecimento global leva a uma alteração dos ecossistemas que poderá afetar gravemente o equilíbrio da vida, podendo, em última instância, levar ao desaparecimento de algumas espécies (National Geographic 2016).

NO_x e SO₂

As emissões de NO_x resultam da oxidação do azoto do ar que passa pelo motor a altas temperaturas, bem como dos compostos de azoto existentes no combustível. Assim, a quantidade de emissões depende diretamente do processo de combustão em diferentes motores e como a maior parte dos motores dos navios opera sem grandes medidas de mitigação, são libertadas quantidades relativamente elevadas deste poluente (Entec 2010; Eyring et al. 2010). Particularmente, o RO pode conter quantidades significativas de azoto orgânico e, assim, contribuir para a formação de NO_x durante a combustão, segundo a entidade *Green Ship of the Future* (GSOF 2015). Motores que operem a menores velocidades, como os pertencentes a embarcações que usem diesel como combustível, atuam a altas temperaturas durante mais tempo, resultando numa melhoria na eficiência de combustão, mas também num aumento de emissões de NO_x (Corbett et al. 1999; Entec 2010). O produto formado na combustão é maioritariamente monóxido de azoto (NO), com uma pequena percentagem de dióxido de azoto (NO₂). Porém, na atmosfera, o NO oxida-se a NO₂ (Entec 2010).

A navegação marítima apresenta também elevados valores de emissão de SO₂ por causa da grande quantidade de enxofre existente na maioria dos combustíveis usados (Browning e Bailey 2006; Eyring et al. 2010; Helfre e Boot 2013). Os impactes ambientais associados aos NO_x e SO₂ são relacionados com acidificação de meios aquáticos, fenómenos de eutrofização e de nevoeiros fotoquímicos. A reação de NO_x com COV na presença de luz solar dá origem ao ozono troposférico, componente maioritário do ‘smog’ ou nevoeiro fotoquímico, fenómeno comum em grandes cidades em que o tráfego automóvel é intenso. A exposição a estes nevoeiros pode causar problemas cardíacos e respiratórios, segundo a Agência de Proteção do Ambiente dos Estados Unidos da América (USEPA, do inglês *United States Environmental Protection Agency*)

(USEPA 1999). O SO_2 na atmosfera pode causar a formação de chuvas ácidas, que causam acidificação dos cursos de água e dos solos, podendo ainda promover a decomposição acelerada de monumentos e edifícios, causando custos económicos e ambientais (USEPA 2016a). Um estudo mostra que há uma ligação entre a exposição ao SO_2 e aumento de visitas de curta duração em hospitais e internamentos por doenças respiratórias, particularmente em populações de risco, incluindo crianças, idosos e asmáticos (Bake e Vanadzins 2011).

PM

O termo PM refere-se a uma mistura de partículas no ar, incluindo combustível não queimado e fuligem e elementos incombustíveis, resultantes de combustão do petróleo ou diesel que ocorre nos motores e queima de combustíveis fósseis (lignite, biomassa, carvão) (Tamaddoni et al. 2013). As partículas em suspensão com diâmetro aerodinâmico inferior a $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$) são as que causam problemas mais graves no sistema respiratório humano, e em portos urbanizados cerca de 95% das PM geradas pela combustão nos navios são $\text{PM}_{2,5}$ (Sharma 2006; Eyring et al. 2010). Um estudo efetuado em 2006 na Califórnia estimou que as emissões de PM provenientes de motores diesel do porto de Los Angeles e do porto de Long Beach aumenta em 60% o risco de contrair cancro para 10% da população residente perto de portos. O estudo estimou também que, em cada ano, a exposição a estes poluentes causava entre 14 a 43 mortes prematuras e entre 180 a 1300 casos de asma (Deniz e Kilic 2010). Por outro lado, um estudo efetuado em 2007 afirma que, nas zonas costeiras da Europa e Sudeste Asiático, as PM libertadas pelos navios são responsáveis por 60 000 mortes prematuras todos os anos (Corbett et al. 2007). Além disto, está confirmado que há uma relação entre níveis de PM e entradas em hospitais e visitas de emergência, principalmente por causas cardiovasculares e pulmonares (Denisis 2009).

COV

O termo COV engloba um grupo de compostos orgânicos que volatilizam e se libertam para a atmosfera por causa da sua elevada pressão de vapor (Tamaddoni et al. 2013). Fazem parte desta categoria compostos como o metano (CH_4), etano (C_2H_6) e propano (C_3H_8) (Tamaddoni et al. 2013; Cakmak et al. 2014). No entanto, a principal fonte do CH_4 é a atividade agrícola e tem um impacto ambiental diferente dos restantes, por isso costuma ignorar-se este composto quando se trata de poluição causada por navios. Assim, usa-se a designação de compostos orgânicos voláteis não-metânicos (COVNM) (Rudd e Hill 2001; Tamaddoni et al. 2013; Cakmak et al. 2014). Estes compostos são libertados aquando da queima do combustível nos motores, de acordo com a Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo (CCDRLVT 2014) resultando também das operações de carga, descarga e transporte de crude (Rudd e Hill 2001). Durante o carregamento de um petroleiro, os hidrocarbonetos mais leves volatilizam primeiro e ocupam o espaço entre a superfície do petróleo e o teto da câmara

de armazenamento. Estes compostos continuam a ascender até entrarem no sistema de ventilação respetivo, sendo posteriormente expulsos para a atmosfera por chaminés (Tamaddoni et al. 2013). Dependendo da origem de cada composto, os efeitos dos COVNM variam entre irritações no sistema respiratório até efeitos mutagénicos ou carcinogénicos, causados por compostos mais tóxicos, como o benzeno (CCDRLVT 2014).

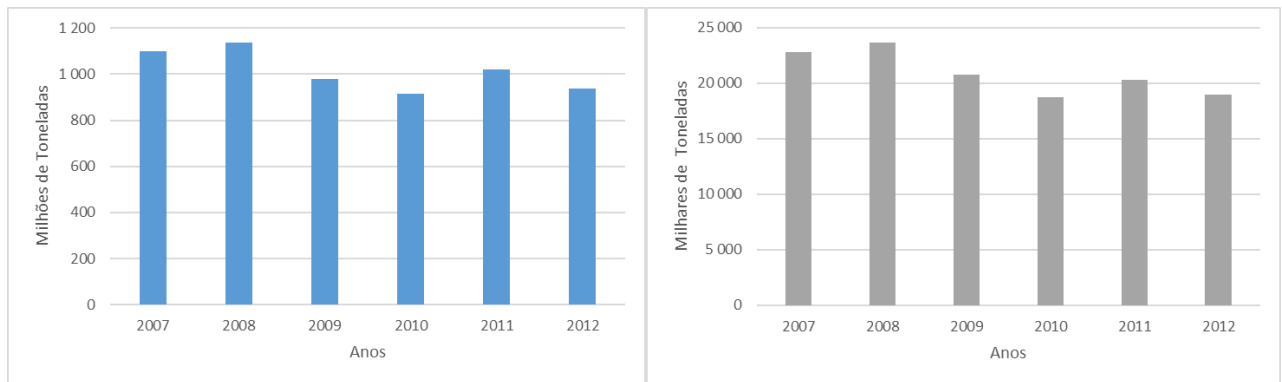
Evolução da emissão de poluentes

Em 2014, a IMO efetuou um estudo a nível global, que estimou, no período de tempo entre 2007 e 2012, as emissões do setor marítimo dos seguintes poluentes: i) CO₂ ii) NO₂, iii) SO₂, iv) COVNM e v) PM. Foram estimadas apenas as emissões de navios que percorreram rotas internacionais, tendo sido desprezadas as emissões causadas por navios que percorreram rotas entre portos de um mesmo país. As Figuras 1a) a 1e) apresentam a evolução da emissão dos poluentes acima referidos resultantes do transporte marítimo internacional (IMO 2014).

Analisando as Figuras 1a) a 1e), é possível verificar que, globalmente, todos os poluentes foram mais intensamente emitidos em 2007 do que em 2012, tendo, em 2008, sido emitidas as maiores quantidades. Desde 2002, a globalização e o rápido desenvolvimento das economias a nível global levaram a uma crescente exigência relativamente ao transporte de mercadorias, o que, por sua vez, obrigou ao uso de uma frota cada vez maior, à qual foi conseqüentemente associada um aumento de emissões (UNCTAD 2015).

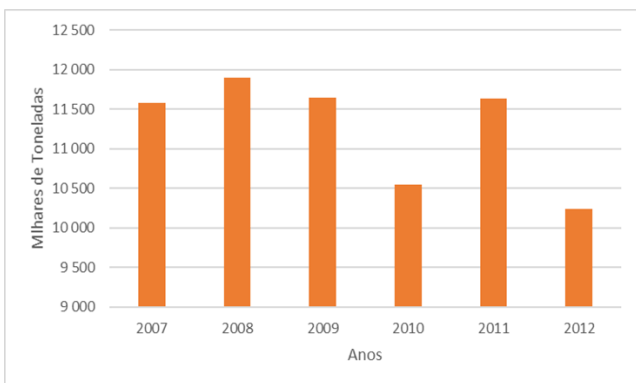
Em 2008, a ocorrência da crise económica afetou, entre outras indústrias, a marítima, uma vez que a anomalia no sector bancário levou a uma escassez de financiamento do comércio global. A uma escala mais global, várias indústrias foram obrigadas a reduzir a quantidade de matéria prima/ mercadorias que importavam, levando, portanto, a uma diminuição do tráfego marítimo. Por outro lado, as próprias companhias marítimas viram-se obrigadas a diminuir as compras de navios para as suas frotas, resultando numa diminuição da construção naval. Houve também a necessidade de reduzir os postos de trabalho, levando também essa falta de pessoal a um decréscimo da produtividade das companhias a nível mundial. Este decréscimo na atividade marítima refletiu-se também nas emissões dos navios, tendo as emissões de todos os poluentes sofrido um decréscimo depois de 2008 (Det Norske Veritas 2012).

A Comissão Europeia chegou a uma conclusão semelhante através de um estudo efetuado no período de 2005 a 2008: as emissões de NO_x pelo transporte marítimo a nível global aumentaram 15% devido à correlação que existe entre o transporte marítimo e a economia mundial, tendo diminuído 12% entre 2008 e 2009, por causa da crise económica (Ship & Bunker, 2015).

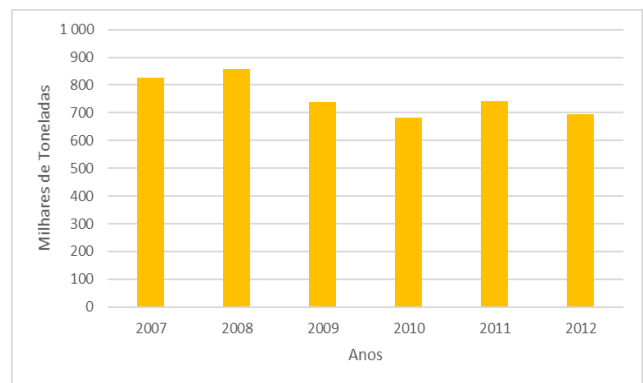


a)

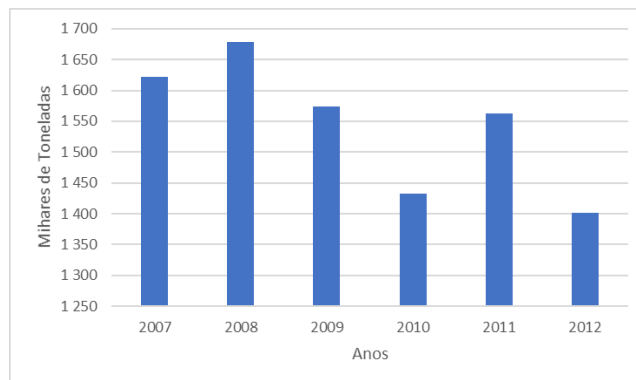
b)



c)



d)



e)

Figura 1 - Evolução das emissões mundiais da indústria marítima no período 2007-2012 de: a) CO₂, b) NO₂, c) SO₂, d) COVNM e e) PM (adaptado de IMO 2014)

Segundo um estudo efetuado pela Conferência das Nações Unidas sobre o Comércio e Desenvolvimento, a compra de navios sofreu uma descida muito acentuada em 2009, o que reforça a premissa de que a crise económica condicionou o mercado marítimo e, consequentemente, as emissões de poluentes (Det Norske Veritas 2012).

No entanto, a companhia Det Norske Veritas (2012) afirmou que houve um crescimento do comércio marítimo de 7,4% em 2011, relativamente ao ano de 2010. Isto sugere uma recuperação do setor marítimo a nível global, depois da crise. De facto, a janeiro de 2012, a frota mundial dedicada ao transporte de mercadorias contava com mais de 105 mil navios, que transportaram 8 748 milhões de toneladas de carga em 2011 (Zanne et al, 2013).

A diminuição de emissões que se registou para generalidade dos poluentes entre 2011 e 2012 deve-se a 3 fatores: i) implementação do uso de velocidades mais reduzidas nos motores dos navios; ii) tendência para a construção de navios com mais eficiência de consumo de combustível; e iii) maior rigor da legislação, cuja fiscalização e controlo das emissões têm vindo a crescer (Drewry 2015). A descida verificada nas emissões de PM e SO₂ deveu-se, em parte, à entrada em vigor, em 2012, do Regulamento 14 da Convenção Internacional para a Prevenção de Poluição por Navios (MARPOL), que exige que, a partir do mesmo ano, os navios que naveguem por zonas marítimas não consideradas como Áreas de Emissão Controlada (AEC) tenham de usar combustíveis com um teor máximo de enxofre de 3,50% (m/m). O uso de combustíveis com menor teor de enxofre promove uma menor libertação de SO₂ e de PM (Eyring et al. 2010).

O 3º estudo da IMO sobre os GEE estimou ainda que, em 2012, os navios tenham contribuído com 938 milhões de toneladas de CO₂, o que equivale a uma percentagem de 2,2% na totalidade das emissões de CO₂ nesse ano. Por outro lado, no mesmo ano, as emissões globais de NO_x e óxidos de enxofre (SO_x) de todo o transporte marítimo representaram, respetivamente, cerca de 15 % e 13% dos NO_x e SO_x produzidos por fontes antropogénicas, a nível global (IMO 2014).

Alguns autores analisaram também a evolução destes poluentes ao longo dos anos. Buhaug et al. (2009) afirma que, entre 1990 e 2007, as emissões de NO_x, SO₂, PM e GEE (principalmente CO₂) pelo transporte marítimo global aumentaram de 585 a 1096 milhões de toneladas (Buhaug et al. 2009). Dando mais destaque aos GEE, um estudo feito por Psaraftis e Kontovas (2009), estimou que as emissões de CO₂ dos transportes marítimos globais em 2007 foram de 943,5 milhões de toneladas (Psaraftis e Kontovas 2009).

2.4 Medidas de Mitigação

A combinação do uso de combustíveis de baixa qualidade e os requisitos pouco exigentes para os motores dos navios fizeram com que o setor marítimo não tivesse uma atividade satisfatória no que diz respeito à vertente ambiental. No entanto, algumas tecnologias de mitigação são aplicáveis, com algumas modificações aos motores. Estas estratégias têm sido focadas nas emissões de NO_x e SO_x, visto serem os únicos poluentes regulados a nível internacional, no setor marítimo (ICCT 2007). Por outro lado, a criação de leis mais rigorosas,

principalmente pelo Artigo VI da MARPOL 73/78, tem levado a uma diminuição das emissões de navios (Helfre e Boot 2013).

As emissões de NO_x dependem: i) da temperatura dos gases queimados; ii) tempo de permanência dos gases na câmara de combustão e iii) quantidade de oxigénio presente. Assim, as reduções das emissões de NO_x podem ser obtidas por melhoramentos nos motores que visem: i) redução da temperatura de combustão ou ii) redução do volume de gases queimados (Baptista 2007). A redução de temperatura pode ser conseguida, por exemplo, através de adição de água ao combustível (emulsão). A presença de água misturada com o combustível promove uma menor temperatura de combustão e, assim, uma menor quantidade de emissões (MAN 2011). Por outro lado, a redução de gases existentes na câmara de combustão pode ser atingida se se fizerem alterações ao sistema de injeção de combustível, de maneira a que haja um aumento do excesso do ar (Baptista 2007). Por outro lado, aquando da construção de novos navios, as salas de máquinas poderiam ser projetadas com espaço suficiente para que sejam instaladas tecnologias de mitigação de emissões, tais como a redução catalítica seletiva, num sistema de exaustão pós combustão (ICCT 2007).

A mudança para combustíveis menos ricos em enxofre revela-se a medida primária para reduzir as emissões de SO_2 , bem como de PM, além de causar menos problemas operacionais e menores custos de manutenção (ICCT 2007; AirClim et al. 2010; Eyring et al. 2010; Helfre e Boot 2013). Esta opção foi incentivada pelo governo de Hong Kong em 2013, uma vez que a emissão de poluentes por navios atracados era responsável por cerca de 40% das emissões de navios no território marítimo do país (Hong Kong Policy Address 2013).

As torres chuva podem também ser utilizadas para remover as emissões de SO_2 . Esta tecnologia utiliza a água do mar para reagir com SO_2 , resultando desta reação sulfatos, que são posteriormente descarregados no mar. Este sistema pode ser implementado em navios já existentes (Helfre e Boot 2013), podendo promover reduções na emissão de SO_2 entre 65% a 94% (Eyring et al. 2010). No que diz respeito às PM, a oxidação catalítica de diesel é uma opção a considerar. Este processo consiste na oxidação pós-combustão de PM que contenha hidrocarbonetos ou frações orgânicas, dependendo do teor de matéria oxidável existente nas PM. Nos combustíveis de veículos terrestres, é obtida uma redução entre 20-50%, tendo o estudo de Eyring et al. (2010) assumido que, no caso de o sistema ser aplicado em navios, seria obtida uma redução menor, entre 10% a 30% (Eyring et al. 2010).

Outra forma de reduzir emissões é o uso de gás natural liquefeito (LNG, do inglês *Liquefied Natural Gas*) como combustível. A queima de LNG resulta em emissões desprezáveis de NO_x e PM, não havendo emissões de SO_x . Por outro lado, há uma redução de até 25% nas emissões de CO_2 , comparativamente com o uso de diesel. Porém, emite maiores quantidades de outro GEE, o CH_4 (Det Norske Veritas 2010). Um estudo efetuado em 2010 considerou o LNG como a solução

económica mais promissora para a redução de poluentes das emissões e previu que o custo de um navio equipado com um motor principal (MP) a consumir LNG exigiria um custo adicional de investimento entre 10% a 50% (Det Norske Veritas 2010). Uma vez que este combustível só se apresenta no estado líquido a temperaturas abaixo de $-163\text{ }^{\circ}\text{C}$, é necessária a construção de tanques de armazenamento, sistema de canalização e uma manutenção cuidadosa (LNG for Shipping 2016). Além disso, o LNG tem metade da densidade do diesel, pelo que há necessidade de instalação de maiores tanques de armazenamento de maneira a que seja transportada uma quantidade de LNG que permita a navegação da mesma distância (Wang e Notteboom 2013). Assim, nem todos os navios já construídos possuem espaço que permitam a acoplação desta tecnologia (Der Noske Veritas 2014). Certas companhias consideram que as frotas dos seus países não estão suficientemente desenvolvidas para poderem utilizar este tipo de combustível. Assim, o LNG pode não ser a solução para redução de emissões para os navios da atualidade, mas deve ser tida em conta na construção de novos navios, uma vez que a implementação desta tecnologia irá reduzir drasticamente a emissão de poluentes por navios (Det Norske Veritas 2010).

De maneira a reduzir o consumo de combustível e a não sobrecarregar os motores, é comum a prática de navegação a baixa velocidade, denominada *Slow Steaming* (Zanne et al. 2013). Um estudo elaborado em 2015 (Boersma et al, 2015) afirma que esta medida pode diminuir as emissões de NO_x até 45%, já que ao serem usadas velocidades menores, há um menor aquecimento dos motores dos navios e, conseqüentemente, redução nas emissões (Boersma et al, 2015). Por outro lado, um estudo efetuado em 2012 afirmou mesmo que a companhia marítima Maersk diminuiu as emissões de CO_2 da sua frota marítima em 2010, com a implementação desta redução de velocidade (Zanne et al. 2013). No estudo efetuado pela IMO (IMO 2014) foi verificado que aplicando uma redução média de 12% da velocidade em alto mar à frota analisada, foi obtida uma redução de 27% de consumo de combustível diário, tendo sido esta redução ultrapassada em algumas categorias (IMO 2014). Assim, esta prática é considerada como a melhor opção custo-benefício para a redução de emissões de poluentes, já que pode ser efetuada sem custos económicos associados (Sardinha 2013a).

As emissões, de uma maneira geral, podem ser reduzidas através das seguintes medidas: i) otimização da configuração do casco do navio, o que leva a uma menor necessidade de consumo de combustível e, por conseguinte, de emissões de poluentes (Hayman et al. 2000); e ii) escolha do motor propulsor indicado para cada tipo de navio, que promove uma eficiência a nível de gasto de combustível (ICCT 2007).

No que diz respeito à redução de emissões em porto, as soluções passam por: i) uso de combustíveis mais refinados nos motores auxiliares (MA) e ii) fornecimento de energia elétrica pelo porto, de maneira a que a mesma não tenha de ser produzida pelos MA (ICCT 2007).

Comparativamente com outras medidas de redução de emissões, como torres chuveiro ou uso de LNG, o custo de investimento em combustíveis com baixo teor de enxofre é considerado insignificante, já que o motor da maioria dos navios pode funcionar usando como combustível tanto o RO como outros com menos teor de enxofre (Moller 2013). Assim, tecnicamente falando, a mudança de combustível pode ser considerada uma boa solução, uma vez que exige um investimento inicial relativamente reduzido (Helfre e Boot 2013).

O custo de refinação do combustível e a sua conversão, além de exigirem um maior consumo de energia, ao qual está associada a produção de GEE (Corbett e Winebrake 2008) representam um custo avultado para as empresas petrolíferas. Estes custos seriam, certamente, parcial ou totalmente transferidos para as companhias de navegação, resultando num aumento do preço dos combustíveis marítimos (Lloyd's Loading List 2013). Se tal acontecesse, a atividade do transporte de carga terrestre aumentaria como consequência da escolha deste tipo de transporte relativamente ao marítimo, de acordo com um estudo efetuado pela Comissão Europeia das Associações de Agentes de Navegação e Ship Brokers (ECASBA, do inglês *European Community Association Of Ship Brokers and Agents*) (ECASBA 2012).

2.5 Previsões

Segundo um estudo efetuado em 2010, sem estratégias de redução de emissões rigorosas, as emissões de CO₂ e SO₂ pelo transporte marítimo duplicariam no período 2010 - 2050 e as emissões de NO_x poderiam exceder os valores atingidos pelo transporte terrestre (Eyring et al. 2010). Já o Instituto Internacional de Análise de Sistemas Aplicados (IIASA) afirma que, caso não houvesse regulações para as emissões de NO_x, os navios que navegassem perto da Europa emitiriam maiores quantidades deste poluente do que todas as fontes terrestres em todos os países membros da União Europeia (Sardinha, 2013).

De acordo com o estudo de 2014 da IMO, foi previsto que o consumo de combustível e as emissões de GEE aumentariam até 2050, apesar das medidas de eficiência que possam ser implementadas. Dependendo de futuros desenvolvimentos energéticos e económicos, os cenários propostos preveem um aumento entre 50% a 250% em 2050 para o CO₂, sendo o fator mais preponderante para tal o aumento gradual da procura do setor marítimo, que se espera que ocorra (IMO 2014).

Segundo a maioria dos cenários analisados, foi previsto que emissões de NO_x aumentariam a uma taxa mais baixa do que as de CO₂, como resultado da legislação imposta pela MARPOL, relativa aos motores dos navios e do aumento gradual de consumo de LNG. Em alguns cenários mais otimistas foi antevista uma descida na emissão destes poluentes.

O estudo da IMO previu ainda uma diminuição acentuada das emissões das PM até 2020 e, relativamente às emissões de SO₂, anteviu uma descida até 2050, causada principalmente pela restrição do teor de enxofre utilizada nos combustíveis, exigida pelo Anexo VI da MARPOL (IMO 2014). Foi previsto ainda um aumento na emissão de hidrocarbonetos, função do aumento do tráfego marítimo no futuro, tendo o combustível utilizado pouca influência neste crescimento (IMO 2014).

2.6 Legislação aplicável

Sendo o transporte marítimo uma indústria global, só pode haver uma regulação de emissões eficaz se as leis que vigorarem se aplicarem a nível coerente e global, não havendo lugar para a disparidade existente entre as legislações das diversas áreas marítimas (ICCT 2007).

IMO

Um conjunto de países propôs a promoção de uma entidade internacional, de maneira a que houvesse uma eficiência na segurança marítima. Assim, em 1948, na Conferência de Genebra, foi formalmente formada uma entidade, a Organização de Consultadoria Governamental Marítima (IMCO, do inglês *Governmental Maritime Consultative Organization*), mas que em 1982 passou a designar-se por IMO. A organização só entrou em vigor em 1958 e teve o primeiro encontro no ano seguinte (1959) (IMO 2016a).

Segundo o *site* oficial da entidade, a missão da IMO enquanto agência especializada da ONU é “promover o transporte marítimo com segurança, eficiência, sanidade ambiental e sustentabilidade, através da cooperação”. Isto é realizado através da adoção dos mais elevados padrões de segurança marítima, eficiência e prevenção e controlo da poluição por navios, bem como pela análise profunda das questões legais relacionadas e da aplicação efetiva das próprias medidas da IMO, com vista à sua aplicação universal e uniforme (IMO 2016a).

MARPOL 73/78

A MARPOL é a principal convenção internacional que abrange a prevenção da poluição do ambiente marinho por navios por causas operacionais ou acidentais (IMO, 2016). Foi criada a 2 de novembro de 1973. O Protocolo de 1978 surgiu como resposta a uma série de acidentes de navios-cisterna nos anos 1976 e 1977. Assim, uma vez que Convenção MARPOL de 1973 não tinha ainda entrado em vigor, foram-lhe adicionadas as legislações do Protocolo de 1978 e a convenção passou a chamar-se MARPOL 73/78, tendo entrado em vigor a 2 de Outubro de 1983 (IMO 2016b).

Atualmente, a MARPOL está dividida em Anexos (IMO, 2016), de seguida discriminados com o respetivo ano de entrada em vigor: i) Regulamentações para Prevenção de Poluição Petrolífera (1983); ii) Regulamentações para o Controlo de Poluição através de Substâncias Nocivas Líquidas Transportadas a Granel (1983); iii) Prevenção da Poluição por Substâncias Nocivas Transportadas por Via Marítima (1992); iv) Prevenção da Poluição Provocada por Substâncias Nocivas Transportadas por via marítima em embalagens ou em contentores (2003); v) Prevenção da Poluição Proveniente dos Esgotos dos Navios (1988) e vi) Prevenção da Poluição do Ar por Navios (2005) (IMO 2016c). Uma descrição resumida destes Anexos pode ser consultada no Anexo A.

No Capítulo 3 do Anexo VI pode ser encontrada regulamentação relativa a substâncias redutoras de ozono (Regulamento 12), NO_x (Regulamento 13), SO_x/PM (Regulamento 14) e COV (Regulamento 15). Este último aplica-se apenas aos navios-cisterna e a navios transportadores de gás se a carga destes e o sistema de controlo de emissões permitirem a retenção segura de COVNM a bordo ou no seu retorno para a costa (IMO 2016b).

O Anexo VI limita, assim, a emissão dos poluentes mais frequentes do transporte marítimo, proibindo emissões deliberadas de substâncias depletoras de azoto. Regula também a incineração em navios e emissão de COV por navios-cisterna (IMO 2016b).

Uma sub-entidade da IMO ligada à preservação do ambiente, o Comité de Proteção do Ambiente Marinho concordou, a julho de 2005, em rever o Anexo VI, de maneira a reforçar significativamente os limites de emissões. Assim, em 2008, foi aprovado o novo Anexo VI, ao qual foi acoplado o Código Técnico dos NO_x 2008, que entrou em vigor a 1 de julho de 2010 (Entec 2010; IMO 2016b). As alterações previstas com esta mudança são uma redução global progressiva nas emissões de SO_x, NO_x e PM. Entre outras exigências, a implementação de AECs fomentou uma maior restrição no que diz respeito à emissão dos poluentes suprarreferidos (IMO 2016c). Os navios têm de estar equipados com tecnologias que permitam a redução de emissões que torne legal a sua passagem pelas mesmas (ICS 2015; IMO 2016b).

Atualmente, existem 4 AECs em vigor: i) Mar Báltico (definida no Anexo I da MARPOL, exclusiva para SO_x); ii) Mar do Norte (definida no Anexo V da MARPOL, exclusiva para SO_x); iii) América do Norte (definido no Apêndice II do Anexo VI, para SO_x, NO_x e PM); e iv) Mar das Caraíbas, (definido no Apêndice VIII do Anexo VI, para SO_x, NO_x e PM)(IMO 2016b).

As restrições para o SO₂ e NO_x podem ser consultadas, respetivamente, nas Tabelas 3 e 4. As restrições impostas para a redução de emissões de SO₂ baseiam-se na estipulação de teores limite de enxofre nos combustíveis utilizados pelos navios, fora e dentro de AECs.

Tabela 3 - Valores-limite de enxofre e impostos pelo Regulamento 14 do Anexo VI da MARPOL (adaptado de IMO, 2016)

Valores limite de teor de enxofre em combustíveis fora de zonas designadas como AEC		Valores limite de teor de enxofre em combustíveis em zonas designadas como AEC	
Data	Valor-Limite	Data	Valor-Limite
Antes 1 de janeiro de 2012	4,50% m/m	Antes de 1 de julho de 2010	1,50% m/m
Após 1 de janeiro de 2012	3,50% m/m	Após 1 de julho de 2010	1,00 % m/m
Após 1 de janeiro de 2020*	0,50 % m/m	Após 1 de janeiro de 2015	0,1 % m/m

* dependendo do resultado de uma revisão, a ser concluída em 2018, relativamente à disponibilidade do RO, esta data pode ser adiada para 1 de janeiro de 2025.

Tabela 4 - Valores-limite dos Fatores de Emissão de NO_x impostos pelo Regulamento 13 do Anexo VI da MARPOL (adaptado de IMO, 2016)

Fase	Data de construção do navio a partir de	Valor limite de Fator de Emissão de NO _x (g/kWh)		
		n < 130	130 ≤ n < 1999	n ≥ 2000
I	1 de janeiro de 2000 ou após	17,0	45 x n ^{-0,2}	9,8
II	1 de janeiro de 2011 ou após	14,4	44 x n ^{-0,23}	7,7
III	1 de janeiro de 2016 ou após	3,4	9 x n ^{-0,2}	2,0

n - velocidade angular do motor

No caso dos NO_x, os valores limite dos Fatores de Emissão (FE) relativos a cada motor de um navio dependem de 2 fatores: i) ano de construção de navio; e ii) velocidade do motor do navio, em rotações por minuto (rpm) (Sardinha 2013a). Desde a Fase I à Fase III, a legislação tem vindo a ficar cada vez mais exigente. Merece destaque o facto de a Fase III ser referente apenas a navegações dentro de AECs relativas a NO_x, vigorando a Fase II para o restante território marítimo (Sardinha 2013a; IMO 2016b).

2.7 Inventário de Emissões

Há necessidade de metodologias confiáveis que possam quantificar, com o máximo rigor possível, onde, como e que poluentes são emitidos, de maneira a decidir que medidas devem ser tomadas com mais urgência para evitar problemas de foro ambiental, tais como a poluição atmosférica, nomeadamente o aquecimento global, a eutrofização dos meios aquáticos e a ocorrência de chuvas ácidas, e consequentes efeitos na saúde. Uma estimativa precisa das

emissões de navios exige uma base de informação confiável acerca do consumo de combustível nos diferentes modos de operação de um navio, bem como de características do próprio combustível (Hulskotte e Denier van der Gon 2010).

No entanto, a escassez de dados e incerteza associados a este tipo de cálculo levaram a uma utilização generalizada de metodologias. A grande disparidade de atividades de um navio leva, conseqüentemente, a uma maior propensão a erros, isto é, a não constante operação de um navio desde que deixa o porto de saída faz com que, na realidade, não haja um consumo de combustível uniforme, levando a que os valores das emissões daí resultantes sejam oscilantes. Por outro lado, nos casos em que um porto se encontra numa zona altamente industrializada torna-se difícil a diferenciação das emissões com origem no porto relativamente às emissões do meio em que o porto está inserido. Há, portanto, dificuldade em isolar o porto como uma entidade (Tzannatos 2009). No entanto, o uso de novas tecnologias com dados fiáveis sobre a atividade dos navios em tempo real tem-se mostrado útil nas metodologias usadas até ao presente (Miola e Ciuffo 2011; Tichavska e Tovar 2015).

Geralmente, as emissões resultantes dos diferentes modos de operação de um navio são calculadas como sendo funções da necessidade energética consoante o modo de operação, multiplicada por um fator de emissão. A este podem ser aplicados fatores de ajuste, cujo valor depende do tipo de combustível utilizado e fatores de controlo, de maneira a ter em conta as tecnologias de mitigação de emissões que cada navio tenha instalado (SCG 2014).

Modos de Operação dos Navios

A atividade dos navios é caracterizada segundo o modo de operação que este esteja a desempenhar, uma vez que cada um destes modos exige um gasto de energia diferente, e conseqüentemente, um consumo de combustível e emissões diferentes (Cooper et al. 2004; SCG 2014). A maioria dos autores considera que existem quatro modos de operação, sendo estes: i) navegação ou navegação em alto mar, em que o navio opera em alto-mar; ii) em manobras, em que o navio entra no quebra mar do porto (o tempo de manobras depende do tipo de navio em questão, da sua velocidade e da distância percorrida entre o porto e a entrada pelo quebra mar); iii) atracado ou no porto, em que o navio está parado no porto ou doca, para que as mercadorias sejam carregadas ou descarregadas, por exemplo; e iv) ancorado, em que o navio está parado dentro ou fora do território abrangido pelo quebra mar à espera de uma vaga no porto ou que necessita de manutenção (SCG 2014).

Nos modos atracado e ancorado, normalmente só os MAs e caldeiras são utilizados, uma vez que o navio não necessita de propulsão quando está parado. Um estudo efetuado em 2008 afirma que neste modo, apenas os navios petroleiros e os cargueiros mistos de passageiros e veículos (cargueiros Ro-Pax) mantêm os MPs em atividade (De Meyer et al. 2008).

As emissões do MP ocorrem durante os modos de navegação e de manobra, enquanto os MAs emitem durante praticamente todos os modos (Deniz and Kilic 2010; Saraçoğlu et al. 2013).

As equações 1 e 2 representam o método base para o cálculo de emissões de cada navio, para MP, MA e caldeiras (SCG 2014).

$$E_{navio} = Energia \times CF \times FE \times FCC \quad [1]$$

$$Energia = Carga \times T \quad [2]$$

Na Equação 1, E_{navio} representa a quantidade de poluente libertado, por tipo de navio, por modo de atividade (g); $Energia$ representa a necessidade energética do modo de operação (kW); CF representa o fator de custo aplicado para considerar as tecnologias de mitigação de cada navio (adimensional); FE representa o fator de emissão (g/kWh); FCC representa o fator de correção do combustível (adimensional). Na Equação 2 $Carga$ representa: i) o produto da potência máxima contínua para o MP (kW) pelo respetivo FC (adimensional); ii) valor da carga ajustada para os MA (kW); e/ou iii) valor da carga ajustada para a caldeira (kW). A variável T , por sua vez, refere-se ao tempo de atividade do navio (h) (SCG, 2013).

Tempos de navegação, manobras e atracado

A quantificação do tempo dos modos de operação de um navio é calculada de maneira diferente para os modos navegação/manobras e atracado/ancorado. No caso dos dois primeiros, em que existe movimentação do navio, o tempo de atividade é normalmente calculado como sendo o quociente entre a distância percorrida pelo navio e a velocidade a que circula. O tempo que um navio passa atracado corresponde à diferença entre a data de saída e a data de entrada no porto (SCG, 2014).

Tipos de motor

Os tipos de motor de um navio são caracterizados segundo a sua função e velocidade angular. Os três tipos de motores geralmente incluídos nos inventários são: i) MP, que é responsável pela propulsão do navio, sendo o tipo de motor que mais espaço ocupa nas salas de maquinaria dos navios (Kantharia, 2013); ii) MA, que é responsável pelo fornecimento de energia (eletricidade) para que o navio possa executar outras tarefas que não sejam a propulsão do mesmo, tais como aquecimento e iluminação das divisões bem como, no caso de navios cruzeiros, abastecimento de energia para certas estruturas, tais como piscinas e casinos (Howitt et al., 2010; Kantharia, 2013); e iii) Caldeira Auxiliar, que é utilizada para diversas operações, tais como fornecer aquecimento para os MPs e aquecer os materiais líquidos transportados por graneleiros/navios-cisterna (de maneira a diminuir a viscosidade destes e facilitar operações de descarga)(Marine Engineering, 2010).

No que diz respeito à classificação por velocidade, os motores a diesel dividem-se em : i) motor diesel de alta velocidade (HSD, do inglês *High Speed Diesel*); ii) motor diesel de média velocidade (MSD, do inglês *Medium Speed Diesel*); e iii) motor diesel de baixa velocidade (SSD, do inglês *Slow Speed Diesel*)(Entec 2010). Os SSD e MSD são mais abundantes na categoria dos MPs (Cooper e Gustafsson, 2004).

No caso dos MAs, os tipos mais frequentes são MSD e HSD, não havendo alterações entre os dois casos no que diz respeito a quantidades de emissões (Entec 2010).

Fatores de Emissão

De acordo com a USEPA, um FE é um valor que exprime a quantidade de um poluente emitida para a atmosfera relativamente a uma atividade associada à libertação do mesmo. É normalmente expresso em massa de poluente emitido por uma unidade de massa, volume ou distância relativos à atividade que promove a emissão. A vantagem do uso destes fatores é a facilidade em estimar emissões de uma grande diversidade de fontes. Na maior parte dos casos, o valor de um FE resulta de uma média, sendo genericamente assumido como o valor indicado para caracterizar a longo termo uma atividade (USEPA, 2016).

É importante salientar que o uso de FE para quantificar emissões implica a suposição de que o fator escolhido caracteriza a variação de emissões de uma qualquer atividade, representando, portanto, a quantidade de emissões de um determinado poluente para toda uma quantidade de condições, o que, muitas vezes, não se verifica na realidade, pois certas ocorrências externas (vento e ondulação marítima, por exemplo) podem influenciar o consumo de combustíveis e, conseqüentemente, as emissões (Browning e Bailey 2006; Hulskotte e Denier van der Gon 2010; USEPA 2016b).

Se os FE não descreverem com a exatidão pretendida, uma atividade única para um conjunto de condições, não devem ser usados diretamente, havendo necessidade de os separar em grupos homogêneos ou aplicar um fator de correção. Este procedimento requer conhecimento sobre FE específicos para cada grupo, e sobre a respetiva distribuição de atividade em cada um dos grupos (Winiwarter et al. 2009).

Os FE dependem do poluente, modo de operação, motor do navio e combustível usado (Moreno-Gutiérrez et al. 2015).

Fator de Carga

O fator de carga (FC) dos MPs corresponde ao valor do rácio entre a velocidade a que um navio circula no momento e a velocidade máxima à qual um navio pode operar. Para muitos

estudos, este fator é obtido recorrendo à Lei de *Propeller*, especificada na Equação 3 (SCG 2014):

$$\text{Fator de carga} = \frac{\text{Velocidade Atual do Navio}}{\text{Velocidade Máxima do Navio}^3} \quad [3]$$

Uma vez que a IMO não exige aos fabricantes informações acerca da potência dos MAs, os FC respetivos não estão registados de maneira completa como os dos MPs. Assim, é costume recorrer-se a correlações para estimar o valor dos FC dos MAs (SCG 2014).

Tonelagem Bruta (GT)

A tonelage total é a medida do volume total do navio englobando a tonelage líquida (NT) e a tonelage bruta (GT, do inglês *Gross Tonnage*). A GT é função de todos os espaços interiores de um navio, medidos desde a quilha até à chaminé. É um índice de capacidade usado para determinar as regras de governo, de segurança e outras obrigações legais. A NT diz respeito aos volumes interiores de um navio cujo fim seja o transporte de carga ou passageiros, constituindo a real capacidade comercial de um navio. Atualmente, as medidas de tonelage em vigor internacionalmente são obtidas usando fórmulas de cálculo em que são usados os volumes dos navios, sendo o resultado final uma medida adimensional (Sardinha 2013b).

Abordagens utilizadas para o cálculo das emissões

Para a quantificação das emissões de navios, é necessário um método que consiga fornecer dados que, efetivamente, sejam o mais exatos possível, de maneira a que os inventários criados sejam, por sua vez, credíveis e reflitam as quantidades libertadas, de maneira a que, consoante cada cenário, se tomem as medidas necessárias para minimizar os danos e custos causados.

As metodologias iniciais para a quantificação das emissões dos navios resumiam-se a cálculos com base no consumo de combustível (abordagem *Top-Down*). Apesar de estes métodos serem úteis para quantificar e comparar a libertação de carbono resultante das atividades, são menos precisos para a obtenção de dados espacial e temporais relativos às emissões de outros poluentes, necessários para quantificação do transporte atmosférico e modelos de dispersão (Miola e Ciuffo 2011). As metodologias com base na atividade dos navios (abordagem *Bottom-Up*) têm sido globalmente aceites como sendo mais precisas para o cálculo de emissões do que as metodologias baseadas no consumo de combustíveis (Buhaug et al. 2009). Além destas duas metodologias, há ainda metodologias “mistas”, que combinam as características de ambas (Miola and Ciuffo 2011).

Metologia *Top Down*

Nesta metodologia, o total de emissões é calculado sem considerar as características de cada navio, sendo posteriormente associadas a diferentes navios ou frotas (Miola e Ciuffo 2011). Esta metodologia baseia-se na quantificação do combustível comprado mundialmente, cujos dados estão discriminados na Administração de Informação Energética (Miola e Ciuffo 2011). As emissões globais de uma metodologia *Top-Down* são distribuídas de acordo com uma matriz de células, em que a cada uma é associado um certo nível de tráfego marítimo, tornando a exatidão deste método difícil de atingir (Eyring et al. 2010). Os resultados obtidos por este tipo de metodologia foram considerados duvidosos, porque, por um lado, a maioria dos inventários seguem metodologias que visam acompanhar os valores de alocação de energia da Agência de Energia Internacional e, por outro, nem todas as entidades registam as vendas de combustível da mesma maneira (Eyring et al. 2010).

Metologia *Bottom-Up*

Neste tipo de metodologia, as emissões de cada navio são calculadas diretamente, de acordo com a rota e especificações individuais de cada navio, tais como os FE. As localizações das emissões são depois determinadas pela localização das rotas mais prováveis de navegação, normalmente simplificadas para linhas retas entre dois pontos (Eyring et al. 2010). Apesar de esta metodologia ser mais precisa, inventários *Bottom-Up* aplicados a grande escala são também incertos, uma vez que estimam FC, velocidades e, mais importante, as localizações das rotas que determinam a distribuição espacial das emissões (Eyring et al. 2010).

Por outro lado, a qualidade de inventários *Bottom-Up* anuais é limitada quando se extrapola períodos de tempo reduzidos para representarem as emissões de um ano. Assim, esta abordagem tem sido limitada a menores escalas ou a inventários regionais (Eyring et al. 2010). Além destas desvantagens, as rotas que um navio percorre são normalmente representadas por linhas retas, ligadas por sucessões de pontos. Isto pode causar uma sobrestimação das emissões, já que as linhas retas num mapa plano nem sempre traduzem o percurso mais curto entre dois pontos no globo (Eyring et al. 2010).

Um estudo de Schrooten et al. (2008), efetuado em 2007 na Bélgica concluiu que, assumindo que o total de combustível vendido é a soma de combustível vendido para navegações internacionais e combustível para navegações nacionais, as companhias tendem a assumir o máximo de vendas de RO como vendido para transportes para fora do país, uma vez que ficam assim mais livres de obrigações legislativas. Houve, portanto, uma sobrestima do combustível utilizado pelos navios belgas. A metodologia com base na atividade dos navios foi, portanto, considerada mais apropriada para a análise de emissões (Schrooten et al. 2008).

De maneira a serem obtidas informações rigorosas acerca da atividade e posição de cada navio, utilizam-se proxys espaciais do tráfego marítimo global (Eyring et al. 2010; Pinto 2013).

As estimativas que utilizam os dados fornecidos pelo Sistema de Informação Automática (AIS, do inglês *Automatic Identification System*) têm emergido nos últimos anos, oferecendo dados espaciais e temporais rigorosos acerca das emissões (Jalkanen et al. 2014; Coello et al. 2015). O AIS é um sistema de localização de navios, introduzido pela Convenção Internacional da Segurança da Vida no Mar (SOLAS, do inglês *Safety of Life At Sea*) da IMO, que transmite as seguintes informações de um navio : i) número de identificação da IMO; ii) tamanho; iii) peso; iv) nome; v) tipo; vi) posição; vii) rota; e viii) velocidade (Winther et al. 2014; Coello et al. 2015; Tichavska e Tovar 2015). Em dezembro de 2004, foi exigido que o AIS fosse implementado em todos os navios de transporte de passageiros e em navios de viagem com uma GT superior a 300. Cada navio é, individualmente, identificado pelo AIS. Conhecendo os modos de operação atuais e as especificações técnicas de um navio, é possível, então, estimar as suas emissões (Goldsworthy e Goldsworthy 2015). O uso do AIS como quantificador das emissões tem revelado vantagens, relativamente às metodologias usadas previamente (Jalkanen et al. 2014). Primeiramente, oferece uma maior qualidade espacial e temporal da informação das emissões de navios individuais, já que reduz fortemente a incerteza dos métodos utilizados previamente relativamente ao tempo que os navios passam no mar. A informação do AIS contém também emissões que ocorrem em áreas portuárias, tendo sido comumente negligenciadas anteriormente (Eyring et al., 2010; Jalkanen et al., 2014; Wang et al, 2007). Por outro lado, permite um estudo da alocação das emissões marítimas, relativamente a diversos fatores (tonelagem bruta dos navios, rotas, entre outras), contribuindo para uma melhor distribuição das emissões (Jalkanen et al. 2014).

As limitações das metodologias que utilizam o AIS para o estudo das emissões são :i) o facto de nem todos os navios terem o sistema implementado, o que leva a uma subestimação das emissões totais (Coello et al. 2015); e ii) a baixa cobertura da rede AIS em certas áreas (Miola e Ciuffo 2011). Em 2008, mais de 50% dos navios tinham implementado o AIS, a nível global (Miola e Ciuffo 2011). No entanto, uma análise regional ao Mar Báltico revelou que 90% dos navios tinham o AIS, o que sugere que noutras áreas, a percentagem de navios com o sistema implementado seja muito mais baixa (Miola e Ciuffo 2011).

2.8 Externalidades

A atividade marítima causa danos ambientais e económicos que na maioria das vezes não são devidamente comportados pelas companhias marítimas (Jiang et al.).

Uma maneira usual de expressar o impacto da poluição do ar em termos económicos é aplicando o conceito de externalidade. Por definição, uma externalidade ocorre quando a

atividade de um certo grupo de individualidades tem um impacto sobre um segundo grupo, não sendo este totalmente contabilizado ou compensado (Chatzinikolaou et al. 2015). A existência de externalidades faz com que o custo de um determinado produto ou serviço não reflita necessariamente o seu impacto social, resultando numa ineficiência de mercado (Silva 2013). Aplicando este conceito ao tema em questão, caso as emissões do setor marítimo não sejam quantificadas e economicamente classificadas consoante os danos que provocam a terceiros, há um menor incentivo para as companhias marítimas implementarem tecnologias de redução de emissões (Jiang et al.).

Portanto, é necessário que haja uma valorização dos danos causados pelas emissões do transporte marítimo, de maneira a que os valores dos mesmos sejam acrescidos ao valor do serviço que se utiliza, constituindo a internalização desses mesmos custos (Angotti et al. 2012).

Assim, são consideradas as quantidades de poluentes emitidas, sendo posteriormente feita uma estimativa dos custos para a saúde humana e dos impactos ambientais daí resultantes, através do uso de fatores de custo externo (FCE), que relacionam os custos associados aos danos com a quantidade de cada poluente emitida (Kilic e Tzannatos 2014).

Os custos incluem, normalmente, os efeitos causados: i) a nível da saúde por $PM_{2,5}$, SO_2 e NO_x ; ii) na acidificação de materiais constituintes de construções por SO_2 ; e iii) na produtividade agrícola, por NO_x (Tzannatos 2009).

O estudo das causas externas não está ainda completamente desenvolvido, sendo necessário uma intensificação das pesquisas nesta área, de maneira a formar uma base de informação sólida para a avaliação dos impactos e dos consequentes custos externos (Tzannatos 2010). Segundo um estudo efetuado em 2015, não há ainda um consenso relativamente aos valores dos custos associados aos GEE (Chatzinikolaou et al. 2015).

3 Estado da Arte

A revisão bibliográfica foi efetuada com o objetivo de reportar estudos previamente efetuados acerca da quantificação de emissões de poluentes causados pelo transporte marítimo. Assim, foi efetuada uma pesquisa nas bases de dados *Science Direct*, *Pubmed*, *Scopus*, *Google Scholar* e em páginas de organizações oficiais estrangeiras e portuguesas. Foram utilizados os seguintes termos na pesquisa: “Shipping Emissions”, “Shipping Emissions Effects”, “NO_x Emission by Shipping”, “Emission at Berths”, “Greenhouse Gas Shipping”, “Shipping Effects”, “Ship Emission Inventory”. Não foi aplicado nenhum critério de limitação relativamente à língua em que os estudos foram publicados, tendo sido encontrados estudos maioritariamente em inglês (utilizando os termos anteriormente mencionados) e em português (utilizando os termos “Emissões de navios em Portugal”, “Emissões em portos” e “Poluição marítima em Portugal”). A pesquisa foi limitada a estudos publicados depois de 2005.

De todos os artigos resultantes da pesquisa, escolheram-se aqueles nos quais constava um método de quantificação de emissões por navios, independentemente de este ser o objetivo principal do estudo, tendo sido excluídos os estudos que não apresentassem uma metodologia de quantificação das emissões de navios, com posterior aplicação da mesma. Desta forma os estudos e artigos analisados tiveram como objetivo a: i) quantificação das emissões de navios (em mar aberto, porto ou região); ii) quantificação das emissões totais de um porto, provenientes de fontes marítimas e terrestres; iii) estimativa das externalidades/efeitos resultantes das emissões de navios; iv) análise do consumo de combustível de diferentes categorias de navios; v) implementação de uma metodologia de cálculo de emissões; e vi) análise comparativa de metodologias.

Após exclusões foram encontrados 20 estudos, que estão indicados e discriminados por ordem cronológica nas Tabelas 5 e 6. Na Tabela 5, para cada estudo, podem ser analisados os períodos de inventariação, objetivo, fronteiras do estudo e poluentes analisados. Na Tabela 6, são identificadas as categorias de navios analisadas, bem como os modos de operação.

Tabela 5 - Período de inventariação, objetivo, fronteira e poluentes analisados dos estudos revistos

Identificação do estudo	Período de inventariação	Objetivo	Fronteiras do estudo	Poluentes Analisados
Deniz e Kilic, 2009	2005	Cálculo das emissões de poluentes no porto e comparação com outros portos	Porto de Ambarli (Turquia)	CO ₂ , CO, NO _x , SO ₂ , COV, PM
CCDRN, 2009	2008	Elaboração de um inventário de emissões para a zona norte de Portugal	Porto de Leixões (Portugal)	CO, CO ₂ , NO _x , CH ₄ , COV, CONVM, SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2,5}
Tzannatos, 2009	1/06/2008 a 31/05/2009	Estimativa das emissões no porto dos poluentes	Porto de Piraeus (Grécia)	NO _x , SO ₂ , PM _{2,5}
Entec UK Limited, 2010	2007	Elaboração de um inventário de emissões dos navios que navegam no território marítimo do Reino Unido e projeção das emissões para o ano de 2020, tendo em conta a ação legislativa do Anexo VI da MARPOL	Território marítimo até 200 milhas náuticas da costa do Reino Unido (Mar do Norte, Canal da Mancha, Mar da Irlanda e zona Nordeste do Atlântico)	NO _x , SO _x , COV, PM ₁₀ , PM _{2,5} , CO ₂
Deniz et al., 2010	2007	Estimativa das emissões de poluentes	Terminais das Baías de Nemrut e Aliaga, Turquia	CO ₂ , NO _x , SO ₂ , PM e HC
Berechman e Tseng, 2011	1/01/2010 a 31/12/2010	Estimativa dos poluentes emitidos por navios e camiões no porto e dos respetivos custos externos	Porto de Kaohsiung (Taiwan)	CO ₂ , CO, NO _x , SO ₂ , PM _{2,5} , PM ₁₀ e HC
Ng et al., 2012	2007	Elaboração de um inventário de emissões de navios em navegação em alto-mar	Território marítimo de Hong Kong	CO, SO ₂ , NO _x , PM ₁₀ , COV
Yau et al., 2012	2007	Elaboração de um inventário de emissões de navios em navegação em alto-mar	Território marítimo de Hong Kong	NO _x , SO ₂ , PM ₁₀
Jalkaanen et al., 2013	2006-2009	Quantificação de emissões provenientes do transporte marítimo	Mar Báltico	CO ₂ , CO, CH ₄ , COV, COVNM, NO _x , SO ₂ , PM
Saraçoğlu et al., 2013	2007	Cálculo das emissões de poluentes no porto por navios	Porto de Izmir (Turquia)	CO ₂ , NO _x , SO _x , PM, HC

PM₁₀ - Partículas em Suspensão de diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm

Tabela 5 (Continuação) - Período de inventariação, objetivo, fronteira e poluentes analisados dos estudos revistos

Identificação do estudo	Período de inventariação	Objetivo	Fronteiras do estudo	Poluentes Analisados
Song, 2013	2009	Estimativa do inventário de emissões de navios no porto e dos respetivos custos económicos	Porto de Yangshan, (China)	CO ₂ , CH ₄ , CO, N ₂ O, NO _x , SO ₂ , PM _{2,5} , PM ₁₀ e HC
Sanabra et al., 2013	2009	Avaliação do impacto local da poluição do ar por navios em áreas portuárias densamente povoadas	10 portos de Espanha	NO _x , SO ₂ , PM _{2,5} e COV
McArthur e Osland, 2013	Ano 2010	Estimativa do inventário de emissões no porto e dos respetivos custos externos, atribuindo um custo a cada poluente	Porto de Bergen (Noruega)	CO ₂ , NO _x , SO _x , PM _{2,5} , PM ₁₀ , COVNM
Song e Shon, 2014	Anos 2006, 2007, 2008	Estimativa das emissões de poluentes pelos navios	Porto de Busan (Coreia do Sul)	CO ₂ , SO ₂ , NO _x , COV e PM
Liu et al., 2014	2006-2010	Estimativa das emissões de SO ₂ geradas por navios e elaboração de estratégias de mitigação	Porto de Kaohsiung (Taiwan)	SO ₂
Fan et al., 2015	2010	Estimativa das emissões de poluentes	Mar da Chin Oriental e portos de Shanghai, Jiangsu, Zhejiang (China)	NO _x , SO ₂ , PM _{2,5}
Tichavska e Tovar, 2015	2011	Cálculo das emissões de poluentes no porto por navios ferry e cruzeiros	Porto de Las Palmas (Espanha)	CO ₂ , CO, NO _x , SO _x , PM _{2,5}
Dragovic et al., 2015	2012-2014	Estimativa e análise, no porto, dos poluentes emitidos por navios cruzeiros e dos respetivos custos económicos	Porto de Dubrovnik (Croácia) e Porto de Kotor (Montenegro)	NO _x , SO ₂ , PM
Maragkogianni e Papaefthimiou, 2015	2013	Estimativa quantitativa e sazonal, no porto, dos poluentes emitidos por navios cruzeiros e dos respetivos custos económicos	Portos de Piraeus, Katakolo, Corfu, Mykonos e Santorini (Grécia)	NO _x , SO ₂ , PM _{2,5}
APA, 2015	1990-2013	Determinação das emissões atmosféricas de navios que entram em portos portugueses no âmbito do inventário português das emissões atmosféricas de GEE	13 portos em Portugal Continental e ilhas	CO ₂ , N ₂ O, CH ₄

Tabela 6 - Categorias de navios e modos de operação analisados pelos estudos revistos

Identificação do estudo	Categorias dos navios	Modos de operação
Deniz e Kilic, 2009	Porta contentores, cargueiro geral, graneleiro líquido, cargueiro Ro-Pax e graneleiro sólido (5)	Navegação, manobras e atracado
CCDRN, 2009	Navio cisterna, graneleiro, cargueiro geral, porta contentor, cargueiro Ro-Ro, navio de passageiros, ferry, navios Ro-Pax, navios de pesca, navios de guerra e rebocadores (11)	Manobras, atracado e operações de carga/descarga para graneleiros líquidos
Tzannatos, 2009	Navios costeiros de passageiros e cruzeiros (2)	Manobras e atracado
Entec UK Limited, 2010	Cargueiro geral, porta contentores, navio de passageiro, cargueiro Ro-Ro, graneleiro, navio cisterna, navio de pesca e outros (8)	Navegação, manobras e atracado
Deniz et al, 2010	Cargueiro geral, petroleiro, navio cisterna transportando produtos químicos, navio cisterna transportando gás liquefeito e navio cisterna transportando outros líquidos (5)	Navegação, manobras e atracado
Berechman e Tseng, 2011	Graneleiro, porta contentores, cargueiro geral, barcaça, navio cisterna, navios de trabalho, navios de pesca, rebocadores e outros (9)	Atracado
Ng et al, 2012	Porta contentores, cargueiro geral, cruzeiro marítimo /ferry, petroleiro e graneleiro seco (5)	Navegação, navegação a baixa velocidade, manobras e atracado
Yau et al, 2012	Graneleiro/cargueiro geral, porta-contentores, navio de passageiros/ferry, cargueiro Ro-Ro, navio-cisterna e outros (6)	Navegação, navegação a baixa velocidade, manobras e atracado
Jalkaanen et al, 2013	Cargueiros Ro-Ro mistos, navio cisterna, cargueiro geral, porta contentores, cargueiro Ro-Ro, graneleiro e navio de passageiros (7)	Navegação

nota: Cargueiro Ro-Ro - Cargueiro de transporte de veículos

Tabela 6 (continuação) - Categorias de navios e modos de operação analisados pelos estudos revistos

Identificação do estudo	Categorias dos navios	Modos de operação
Saraçoğlu et al, 2013	Porta contentores, cargueiro geral, cargueiro Ro-Ro, navio cisterna transportando produtos químicos e navio cisterna geral (5)	Navegação, manobras e atracado
Song, 2013	Porta-contentores (1)	Navegação, manobras, ancorado e atracado
Sanabra et al, 2013	Cargueiro Ro-Ro, navio de passageiros e porta contentores (3)	Manobras e atracado
McArthur e Osland, 2013	Graneleiros sólidos, graneleiro líquido, cargueiro geral, navios de passageiros, rebocadores, navios de pesca e outros (7)	Atracado
Song e Shon, 2014	Navio cisterna, graneleiro, cargueiro geral, porta-contentores, navio de passageiros, rebocadores e outros (7)	Navegação, manobras e atracado
Liu et al, 2014	Porta-contentores, cargueiro, graneleiro, petroleiro, navio frigorífico, navio Ro-Pax, navio de passageiros e outros (8)	Navegação, manobras e atracado
Fan et al, 2015	Porta contentores, cargueiro geral, petroleiros, navios de passageiros e outros (5)	Navegação, navegação a baixa velocidade, manobras e atracado
Tichavska e Tovar, 2015	Navio de serviços, cargueiro, porta-contentores, navio cisterna, navios de pesca, cargueiros Ro-Ro, navios desconhecidos e outros (8)	Navegação, manobras e atracado
Dragovic et al, 2015	Cruzeiros (1)	Manobras e atracado/ancorado
Maragkogianni e Papaefthimiou, 2015	Cruzeiros (1)	Manobras e atracado
APA, 2015	Graneleiro sólido, graneleiro líquido, cargueiro geral, porta contentores, cargueiro Ro-Pax, navio de passageiros, ferry de alta velocidade, navio de recreio, rebocador, navio de pesca e outros (11)	Navegação

Ao efetuar a pesquisa, constatou-se que há cada vez mais estudos relacionados com as atividades marítimas e as suas consequências, provando que há uma preocupação crescente sobre este tema.

Dos 20 estudos analisados, 13 foram efetuados na Europa e 7 foram efetuados na Ásia. Nove dos 10 maiores portos de contentores do mundo localizam-se na Ásia (WSC, 2016). A grande atividade dos portos asiáticos fomentou a realização de estudos de emissões de navios de alguns autores, uma vez que alguns destes portos estão localizados perto de ou em cidades com elevada densidade populacional, como por exemplo Busan e Hong Kong (Yau et al. 2012; Song 2013).

Por outro lado, a nível europeu, a entrada em vigor de novas normas impostas pela União Europeia e pela IMO, tais como a implementação de AECs (no Mar Báltico e Mar do Norte) e a legislação mais apertada relativamente às emissões de NO_x têm motivado uma intensificação dos estudos que visam a quantificação de emissões pelos navios.

Em Portugal, foram efetuados dois estudos em que foram quantificadas as emissões, tendo estes sido efetuados pela APA (2015b), que estudou as emissões de GEE em todos os setores, a nível nacional, entre 1990 e 2013 e pela Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte (CCDRN 2009) que analisou as emissões de navios no porto de Leixões em 2008.

3.1 Descrição Geral

Dos estudos analisados, a maior parte não teve grandes restrições relativamente às categorias de navios analisados, exceto os estudos de i) Tzannatos (2009), Maragkogianni e Papaefthimiou (2015) e Dragovic et al. (2015), que consideraram apenas navios de passageiros; ii) Song (2013), que analisou as emissões de porta-contentores; e iii) Sanabra et al. (2013), que analisou as emissões de porta-contentores, cargueiros de veículos (geralmente denominados cargueiros Ro-Ro) e navios de passageiros.

A generalidade dos estudos utilizou uma metodologia de cálculo de emissões que se baseava na aplicação de uma equação semelhante às Equações 1 e 2, dependente dos seguintes parâmetros: i) tempo de operação; ii) distância percorrida pelo navio; iii) FE; iv) potência dos motores; e v) FC.

McArthur e Osland (2013) fizeram uma distinção entre o cálculo de emissões para a maioria dos navios e para os navios de passageiros. As emissões de navios desta categoria foram calculadas a partir do consumo de energia do navio, que foi determinado tendo em conta apenas o número de passageiros dos navios e o tempo que estes passavam atracados, fazendo a assunção de que 217 g de combustível geravam 1 kWh de energia.

Liu et al. (2014) utilizaram dois métodos para a quantificação das emissões de SO_2 . O primeiro método, baseado na capacidade de carga de cada navio, consistia na aplicação de uma fórmula para a obtenção de massa de poluente libertado, dependendo do FE e carga transportada pelo navio. Foi assumido que todos os navios em análise percorriam uma distância de 9 km e que 1 kg de combustível utilizado gerava 9 000 kcal de energia. Em resumo, o método previa a produção de cada poluente consoante a energia gasta pelo navio a percorrer os 9 km. O outro método utilizado baseou-se na atividade dos navios durante a viagem, sendo aplicada uma equação semelhante à Equação 1. Numa comparação entre os dois métodos, os autores constataram que o primeiro é relativamente mais simples e não contempla as emissões quando o navio está atracado. Por outro lado, o segundo método, apesar de considerar mais parâmetros, exige uma mais exaustiva recolha de dados.

Jalkanen et al. (2013) e Tichavska e Tovar (2015) utilizaram um modelo especial, denominado Modelo de Avaliação de Emissões do Tráfego Marítimo (STEAM), que foi projetado especificamente para quantificar as emissões com base na atividade do navio e informações fornecidas pelo AIS (Tichavska e Tovar 2015). O STEAM exige como entrada informação proveniente da rede AIS e pode ser aplicado a nível global, exigindo para isso que a cobertura da rede AIS seja também global, não sendo isto possível se as estações que recebem a informação AIS se localizarem exclusivamente em terra (Jalkanen et al., 2013; Jalkanen et al., 2009). Este modelo é dotado de uma base de dados com informação técnica com mais de 20 000 navios, proveniente da Base de Dados de Navios da Lloyd's (BDNL) e da *IHS Fairplay*, complementada com informação proveniente dos fabricantes dos navios, autoridades portuárias e proprietários dos navios (Tichavska e Tovar 2015). Os navios foram primeiramente identificados pelo seu número de identificação atribuído pela IMO (os navios que não possuem este número foram assumidos como rebocadores, com as especificações técnicas respetivas). O modelo contém também FE experimentalmente obtidos, tecnologias de minimização de emissões, consumo específico de combustível, tipo de combustível usado e teor de enxofre para MA e MP (Jalkanen et al. 2009). A velocidade instantânea é obtida diretamente a partir dos dados AIS e os FC são determinados em cada rota, baseados no rácio entre a velocidade do navio e a resistência calculada que o navio tem de ultrapassar a uma velocidade específica (Jalkanen et al. 2009). As rotas marítimas e as mudanças de velocidade estão incluídas com detalhe, não havendo a necessidade de as estimar. O modelo inclui também uma modelação melhorada do consumo de energia pelos MAs, que dependem do tipo de navio e do modo de operação (Tichavska e Tovar 2015). Ao contrário de muitas metodologias utilizadas, o efeito das ondas no consumo de combustível é também tido em conta, na medida em que o programa atribui maiores valores de potência do MP em zonas em que o mar é mais agitado ou propícias a tempestades. A ocorrência de ondas aumenta o consumo de combustível porque afeta a facilidade com que o navio se movimenta na água (Jalkanen et al. 2009; Tichavska e Tovar

2015). As maiores incorreções associadas ao STEAM dizem respeito à ausência da cobertura da rede AIS em certas regiões (como zonas polares), lapsos nas mensagens AIS recebidas pelas estações e “congestionamento” da informação em áreas mais ocupadas; tudo isto leva a uma subestimação das emissões (Jalkanen et al 2013; Tichavska & Tovar, 2015). Por outro lado, existe uma incerteza associada ao conteúdo de enxofre nos combustíveis, que influencia a previsão de emissões de SO_x e de PM (Jalkanen et al, 2013).

Além destes dois estudos, os estudos de Yau et al. (2012), Ng et al. (2013) e Fan et al. (2015) efetuaram também uma atribuição espacial das emissões, possibilitando analisar quais os locais nos quais foram libertados mais poluentes.

A nível nacional, o estudo efetuado pela CCDRN (2009) quantificou as emissões de navios para o ano 2008 considerando: i) operações anuais totais de carga e descarga da frota analisada; ii) tipo de navio; iii) quantidades de produtos carregados (líquidos e petrolíferos) dos navios cisterna; iv) tempo de modo de atividade; v) GT; e vi) consumo de combustível (CCDRN, 2009). Já o estudo da APA (2015b) inventariou as emissões entre 1990 e 2013, no entanto, os dados fornecidos pelos portos portugueses foram referentes aos anos 1990, 1995 e ao período entre 2000 e 2013. Para os restantes períodos (1991 a 1994 e 1996 a 1999) o número de movimentos assim como as distâncias percorridas foram estimados de acordo com uma interpolação utilizando os dados disponíveis.

3.2 Modos de Operação

Song e Chon (2014), Saraçoğlu et al. (2013), Deniz e Kilic (2009), Tichavska e Tovar (2015), Deniz et al (2010) e o estudo Entec UK Limited (2010) quantificaram as emissões de navios nos três principais modos de operação: i) navegação; ii) manobras e iii) atracado. Liu et al. (2014) consideraram estes três modos de operação, tendo, no entanto, a particularidade de aplicar um método diferente para o cálculo de emissões no modo de navegação do que foi aplicado para o cálculo das emissões nos modos de manobras/atracado.

Berechman e Tseng (2011) e McArthur e Osland (2013) debruçaram-se apenas em navios atracados no porto, enquanto os estudos de Sanabra et al. (2013), Tzannatos (2009), Marakgianni e Papaefthimiou (2015) quantificaram as emissões decorrentes de navios que exerciam as atividades de manobra e que estavam atracados. Dragovic et al. (2015) consideraram dois modos de operação: manobras e ancorado/atracado. Normalmente, as emissões nos modos de operação de ancorado e atracado são calculadas individualmente, mas neste estudo, estes dois modos de operação foram assumidos como apenas um modo de operação.

Ng et al. (2012), Fan et al. (2015) e Yau et al. (2012) quantificaram, além dos três modos principais, um modo designado como ‘navegação a baixa velocidade’, tendo sido definido como

um intermédio entre os modos de navegação e manobras. Este modo intermédio foi utilizado apenas por autores que estudaram zonas costeiras asiáticas. Por sua vez, Song (2013) analisou as emissões em modos: i) navegação; ii) manobras; iii) atracado e iv) ancorado.

Os estudos de Jalkanen et al. (2013) e APA (2015b) contabilizaram as emissões de navios em alto mar, no modo de navegação. Já o estudo elaborado pela CCDRN (2009) considerou apenas os modos: i) manobras; ii) atracado e iii) operações de carga/ descarga para graneleiros líquidos.

3.3 Bases de dados utilizadas e informação sobre movimentos dos navios

A maioria das metodologias analisadas utilizava uma base de informação de onde retirava as especificações técnicas dos navios, tais como o tipo de navio em questão e outras informações mais pormenorizadas tais como o tipo de motores instalados, bem como a velocidade e a potência dos mesmos. Analisando os estudos, verificou-se que a maioria das metodologias recorria às bases de dados da IHS Seaweb Fairplay e da Lloyd's.

Tzannatos (2009) recorreu a duas entidades para obter os dados relativos aos movimentos no porto de Piraeus: i) Ministério Grego da Marinha Mercante, que reportava as partidas a partir do porto de Piraeus, numa base diária, contendo informações acerca do nome dos navios, hora de partida e destino; e ii) autoridade portuária de Piraeus, que forneceu informação acerca das datas de chegada dos navios, bem como o nome e duração da estadia.

Os estudos de Tzannatos (2009), Song (2013), Ng et al. (2013) e Fan et al. (2016) recorreram à BDNL para obter informação relativa a parâmetros como: i) velocidade dos navios ii) potência dos MP; e c) GT, entre outros. Por outro lado, Yau et al. (2012) recorreu à Enciclopédia Marítima Mundial para obter estes valores.

Uma vez que nas bases de dados analisadas não constavam os valores das potências dos MAs, os estudos de Tzannatos (2009), Ng et al. (2012), McArthur e Osland (2013), Sanabra et al. (2014), Dragovic et al. (2015) e Yau et al. (2012) utilizaram rácios MP-MA analisados em diversos estudos.

Marakgianni e Papaefthimiou (2015) recorreram às autoridades portuárias dos quatro portos gregos analisados para obter a informação relativa aos nomes de navios, datas de chegadas e datas de saída, sendo possível assim determinar os tempos de atracado. Os autores recorreram à base de dados da *IHS Fairplay* para obter informação acerca da potência dos MPs e MAs. As velocidades nos modos de navegação e manobra foram retiradas de outros estudos (Buhaug et al. 2009; Howitt et al. 2010).

O estudo efetuado por Song (2013) obteve informação sobre a atividade dos navios, através da *BLM-Shipping* (uma plataforma que utiliza a rede AIS) e da autoridade portuária de Shanghai.

Deniz et al. (2010) utilizaram a informação sobre o tipo de navio, carga total, tempos de partida e chegada dos portos pelas autoridades portuárias dos portos analisados, tendo usado valores de velocidades e potência dos MPs e MAs de outros estudos.

Deniz e Kilic (2009) utilizaram a informação relativa às datas de chegada e saída dos navios fornecidas pela entidade portuária de Ambarli.

Os estudos de Ng et al. (2012) e Yau et al. (2012) recorreram ao Departamento Marítimo de Hong Kong para obter informações relacionadas com as chegadas e partidas dos navios à região em análise e atividades dos navios durante os modos de operação.

O estudo efetuado por McArthur e Osland (2013) recorreram à informação fornecida pela autoridade portuária de Bergen, na qual constavam as datas de entrada/saída do porto. A potência dos MPs foi medida pelo consumo diário de combustível pelos mesmos, utilizando a metodologia usada num estudo anterior (Lucialli et al. 2007), em que foi aplicada uma equação que dependia da GT do navio a cada classe analisada.

No estudo efetuado Sanabra et al. (2014), utilizaram-se tempos de manobras e atracado assumidos noutra estudo (Whall et al. 2002). Para quantificar a potência dos MPs, foi utilizado o mesmo método de McArthur e Osland (2013).

Song e Shon (2014) e Saraçoğlu et al. (2013) consultaram os valores das potências dos MPs e MAs na BDNL. Song e Shon (2014) utilizaram também esta base de dados para retirar os valores das velocidades máximas e as velocidades normais de navegação em alto mar. Os registos de entrada/saída do porto, os tempos que os navios passavam nos portos atracados e em manobras foram fornecidos pelas autoridades portuárias de Busan.

Liu et al. (2014) recolheram dos Serviços Portuários de Kaohsiung informações relativas a: i) registo dos navios que entraram e saíram do porto; ii) tempos de manobra e atracado. A potência dos MPs foi consultada num estudo efetuado pelo Grupo de Consultadoria da Starcrest (SCG, do inglês *Starcrest Consulting Group*) (SCG 2010). Para um dos métodos usados neste estudo, foram ainda utilizados os valores das cargas que os navios transportaram, que por sua vez, foram consultados nos relatórios mensais do Ministério de Transporte e Comunicação Global de Taiwan.

Berenchman e Tseng (2011) obtiveram da autoridade portuária de Kaohsiung a informação relativamente aos movimentos dos navios, como datas de entrada e saída, nomes, GT, referentes ao ano de 2010, não tendo este estudo contabilizado a potência dos MPs.

No estudo de Dragovic et al. (2015), a informação detalhada acerca das entradas nos portos foi fornecida pelas autoridades portuárias dos portos de Kotor e Dubrovnik, enquanto os valores da GT dos navios e informação técnica específica foi obtida na base de dados da *IHS Fairplay*.

No estudo efetuado pela Entec UK Limited de 2010, os dados relativos às características e movimentos dos navios foram fornecidos pela BDNL, tendo os tempos de navegação e tempos de estadia em portos sido obtidos com recurso a mensagens AIS transmitidas pelos navios, reportando as suas posições e rotas. Neste estudo, foi assumido para todas as entradas um tempo de manobras de 2 horas.

Para o estudo efetuado pela CCDRN (2009), os dados necessários ao cálculo das emissões associadas ao Porto de Leixões, foram obtidos a partir dos boletins mensais e anuais disponíveis na página da internet da Administração dos Portos do Douro e Leixões (APDL), constando informação tal como datas de estadia no porto e carga transportada. Para todos navios, foi assumido um tempo de manobras de 24 minutos, uma distância percorrida de 1,85 km na entrada e saída do porto e uma velocidade de 5 milhas náuticas por hora (8,05 km/h) (CCDRN, 2009)

O cálculo das emissões de navios efetuado no relatório da APA (2015b) baseou-se no consumo de combustíveis, sendo utilizada uma metodologia *Bottom-Up* para determinar os fatores de consumo de combustível de cada um dos tipos de navios e para se determinar quais as embarcações que entravam e saíam dos portos e estimar o tempo de viagem e a velocidade das embarcações. Posteriormente, utilizou-se uma abordagem *Top Down* para calcular com maior exatidão o consumo de combustível marítimo de navios em rotas internacionais (Pinto 2013; APA 2015a).

3.4 Poluentes Analisados

Dos estudos analisados, exceto Liu et al. (2014) que apenas quantificaram as emissões de SO₂, quase todos os restantes quantificaram emissões SO₂ (ou SO_x), NO_x e PM. Alguns estudos fizeram uma análise a outros tipos de poluentes, como CO₂, HC, CH₄ e CO. Jalkanen et al. (2013), Song (2013), Berenchman e Tseng (2012) e o relatório elaborado pela CCDRN (2009) foram os que abrangeram uma maior diversidade de poluentes libertados por emissões de navios.

3.5 Fatores de Emissão, Fatores de Carga e Combustíveis usados

A Entec UK Limited utilizou FE de dois estudos elaborados pela própria entidade, em 2002 e 2005, relativos a navios que operavam no território marítimo da União Europeia (Entec 2010; Pinto 2013). A determinação destes FE foi possível através da associação do Instituto Sueco de Pesquisa Ambiental e dos Serviços de Engenharia da Lloyd's, pela análise de dados e medições

de emissões pelas duas entidades. Os FE para os NO_x, SO₂, CO₂, COV e PM foram derivados a partir de quatro tipos diferentes de motores a trabalhar com diferentes tipos de combustível (Entec 2010; Pinto 2013).

Tzannatos (2009) utilizou FE que foram retirados do estudo de Whall et al. (2002) e estimou os FC, depois de analisar alguns estudos (Whall et al. 2002; De Meyer et al. 2008) e efetuar uma pesquisa a entidades marítimas para obter valores mais realistas. As mesmas fontes de FE e FC foram adotadas no estudo levado a cabo por Maragkogianni e Papaefthimiou (2015). Tzannatos (2009) considerou ainda que os navios consumiam RO com um teor de enxofre máximo de 1,5% e MDO com 1%, respetivamente. No que diz respeito aos MAs, 35% dos navios analisados consumia MDO, enquanto os restantes consumiam RO com um teor máximo de enxofre de 1%.

Deniz et al. (2010), Saraçoğlu et al. (2013) e Sanabra et al. (2013) utilizaram FE retirados de um estudo da Entec UK Limited (Entec UK Limited 2005), tendo Saraçoğlu et al. (2013) recorrido ainda à BDNL. No caso de Sanabra et al. (2013), os FC foram retirados do estudo de Whall et al. (2002). Os tipos de combustível analisados neste estudo foram RO, MDO e MGO, tendo-se assumido que o teor máximo de enxofre nestes tipos respeitava a legislação em vigor. Os valores dos FC usados por Saraçoğlu et al. (2013) foram assumidos pelos próprios autores, considerando o modo de operação do navio e a potência do MP e MA. No caso de Deniz et al. (2010), os FC foram assumidos como 0,4 e 0,75 para os MPs e MAs, respetivamente.

Song e Chon (2014) utilizaram FE que retiraram de estudos analisados (Whall et al. 2002; SCG 2007; ICF 2009; SCG 2010), e que consideraram serem adaptáveis ao seu estudo. Os FC dos MPs foram calculados recorrendo à Equação 3 e os FC dos MAs foram estimados recorrendo ao estudo SCG (2010). Assumiu-se que os tipos de combustíveis utilizados neste estudo foram MGO (0,5 % de enxofre), MDO (1,0% de enxofre) e RO (2,7% de enxofre).

O estudo efetuado por Yau et al. (2012) utilizou FE retirados de estudos analisados e assumiu um teor de 2,42% e de 1,5% para os combustíveis usados para os MPs e MAs, respetivamente. A determinação dos FC foi efetuada recorrendo à Equação 3.

O estudo efetuado por Liu et al. (2014) assumiu FE tendo em consideração a informação existente na base de dados da USEPA e a consideração de que o conteúdo médio de enxofre nos combustíveis usados no Porto de Kaohsiung era de 0,95%.

O estudo de Deniz e Kilic (2010) utilizou os FE de estudos analisados (Trozzi et al. 1995; Endresen et al. 2005).

Fan et al. (2015) utilizaram os FE provenientes de estudos analisados (Cooper et al. 2004; ICF 2009; Goldsworthy and Goldsworthy 2015), tendo sido aplicados fatores de ajuste, de maneira a adequar os valores dos FE de acordo com a legislação em vigor para as emissões de NO_x. No estudo em questão, os navios utilizaram RO (2,7% de enxofre) e MDO (0,5% de enxofre).

McArthur e Osland (2013) utilizaram os FE do Inventário Estatístico de Emissões da Noruega e os FC de um estudo efetuado em 2009 (Dalsøren et al. 2009).

No estudo de Dragovic et al. (2015), os FC foram analisados em dois estudos (ICF 2009; Tzannatos 2009) e adaptados aos portos em questão. Foi assumido neste estudo que os navios consumiam RO (1,5% de enxofre) durante as manobras e MDO/MGO (0,1% de enxofre) quando estavam atracados.

No estudo da CCDRN (2009) considerou-se que todos os motores funcionavam a diesel. Consideraram-se perfis de emissões mensais, uma vez que não foram disponibilizados dados diários ou horários (CCDRN, 2009).

3.6 Cálculo de Custos dos Danos das Emissões

Dos estudos analisados, os seguintes incluíram uma estimativa de custos associados às emissões dos navios: i) Tzannatos (2009); ii) Marakgianni e Papaefthimiou (2015); iii) Song (2014); iv) Sanabra et al. (2013); v) Berechman e Tseng (2011); vi) McArthur e Osland (2013); e vii) Dragovic et al. (2015).

Algumas das metodologias utilizadas fizeram distinção entre os danos locais e danos rurais. No entanto, a metodologia base consistia na pesquisa/atribuição de FCE, medidos em unidades monetárias por unidades de massa de poluente produzida.

Sanabra et al. (2013) e Tzannatos (2009) diferenciaram os FCE em locais e rurais. Para o cálculo dos FCE locais, ambos os estudos optaram por uma metodologia utilizada num estudo efetuado por Holland e Watkiss (2002). Foram retirados deste estudo os FCE relativos ao SO₂ e às PM_{2,5}, que foram atribuídos consoante a população residente na cidade em que o porto se localizava. Esta metodologia é considerada válida a nível europeu pelos autores do estudo (Holland e Watkiss 2002). Tzannatos (2009) utilizou os FCE do mesmo estudo, tendo ainda considerado o índice de preço no consumidor referente ao ano em que foi iniciado o estudo (2008), algo que Sanabra et al. (2013) não consideraram. Estes autores usaram FCE rurais provenientes de outro estudo efetuado por Holland et al. (2005), no qual, para cada país e poluente, são admitidos quatro cenários de sensibilidade, estando disponíveis FCE para COV, NO_x, PM_{2,5} e SO₂ (Holland et al. 2005). Além dos FCE utilizados nesta metodologia, Tzannatos (2009) utilizou FCE provenientes de um outro estudo, sendo que este não diferenciava os FCE em locais e rurais.

Song (2014) e Berechmann e Tseng (2011) utilizaram os FCE de diversos estudos internacionais, não considerando diferenças entre FCE locais e FCE rurais.

Dragovic et al. (2015) usaram, para a quantificação de emissões no porto de Dubrovnik, os FCE estimados previamente num estudo de 2014 para a Croácia. Apenas o FCE das PM dependia

da densidade populacional da cidade em que estava localizado o porto, sendo o FCE do SO₂, NO_x e COV independente da densidade populacional. Nesse estudo não tinham, contudo, sido estimados os FCE relativos a Montenegro, pelo que foram utilizados os FCE relativos à Bulgária, pois considerou-se que os mesmos eram aplicáveis de maneira a obter os custos das emissões do porto de Kotor (Korzhenevych et al. 2014).

McArthur e Osland utilizaram FCE de quatro estudos diferentes: i) Magnussen et al. (2010); ii) Kystverket (2007); iii) Holland e Watkiss (2002); e iv) Holland et al. (2005). Os FCE dos dois primeiros estudos foram estimados para a Noruega, contudo os FCE dos estudos de Magnussen et al. (2010) incluem todos os tipos de transporte nas proximidades do porto de Bergen. Por sua vez, o estudo de Kystverket (2007) estima FCE apenas para o transporte marítimo. No entanto, os FCE dos dois últimos estudos consideram uma diferenciação entre FCE locais e rurais.

O estudo de Marakgianni e Papaefthimiou (2015) efetua uma estimativa dos custos associados às suas emissões com FCE provenientes de duas metodologias distintas, não referindo, no entanto, a origem dos mesmos.

4 Metodologia

4.1 Portos Analisados

Solicitou-se às entidades portuárias de Portugal continental os registos de entradas e saídas dos navios a partir do ano 2013, no formato Excel, de maneira a uma fácil e versátil manipulação de dados. Foram recebidos dados dos portos de i) Leixões; ii) Viana do Castelo; iii) Figueira da Foz, iv) Setúbal; e v) Sines.

4.1.1 Porto de Leixões

Situado no concelho de Matosinhos, a 4 km da Foz do Rio Douro, este porto possui 5 km de cais e 120 hectares de área molhada (Cerqueira 2008). Este porto é o segundo maior porto artificial a nível nacional, sendo a maior infraestrutura portuária da Região Norte. Os movimentos associados a este porto representam cerca de 25% do comércio internacional português, movimentando cerca de 14 milhões de toneladas por ano, de variados tipos de carga (APP 2016a). Foi, em 2015, inaugurado o Terminal de Cruzeiros, ficando este porto habilitado a poder receber cruzeiros de maiores dimensões (APDL 2015a), impulsionando o crescimento do número de navios cruzeiros e de passageiros, fazendo com que o porto se assumia cada vez mais como um porto de cruzeiros (APDL 2015b).

4.1.2 Porto de Setúbal

Localizado a 30 km de Lisboa, na Foz do Rio Sado, este porto é considerado um porto de excelência do *Short Sea Shipping*, designação utilizada para o transporte marítimo ao longo da costa. Dispõe de terminais especializados em vários tipos de carga, caracterizados por uma grande capacidade e extensão. Este porto é líder nacional no tráfego de cargueiros Ro-Ro, sendo responsável por mais de 90% dos movimentos deste tipo de carga, em Portugal (APP 2016b). Em 2015, o porto de Setúbal foi, a nível nacional, o que mais contribuiu para a exportação de veículos produzidos pela Volkswagen Autoeuropa, tanto para a Europa como para a Ásia, tendo sido efetuada, no mesmo ano, uma expansão de 5,8 hectares de terraplana no terminal Ro-Ro deste porto (Silva 2015).

4.1.3 Porto da Figueira da Foz

O porto da Figueira da Foz localiza-se no distrito de Coimbra e é um porto vocacionado para o *Short Sea Shipping*, dispondo de um terminal multiusos, um terminal para granéis líquidos e uma marina dedicada a embarcações de recreio (Porto da Figueira da Foz 2015).

Este porto movimenta cerca de 2,2 milhões de toneladas de carga por ano, sendo maioritariamente carga geral fracionada, produtos florestais, granéis sólidos e carga contentorizada (APP 2016c).

4.1.4 Porto de Viana do Castelo

Este porto localiza-se junto à Foz do Rio Lima, incorporando um porto comercial, um porto industrial, um porto de recreio e um porto de pesca. O porto comercial tem capacidade para movimentação de cerca de 900 000 toneladas anuais e o porto industrial, localizado na margem direita do Rio Lima, é constituído por duas unidades industriais: os Estaleiros Navais de Viana do Castelo (ENVC) e a Indústria de Fabricação de Componentes para Aerogeradores Eólicos (ENERCON) (Porto de Viana do Castelo 2015). O porto é dotado de um fácil acesso, sendo responsável pela movimentação de carga geral fracionada, granéis sólidos, granéis líquidos e carga Ro-Ro (APP 2016d).

4.1.5 Porto de Sines

O porto de Sines, localizado a 107 km a sul de Lisboa, é o maior porto artificial de Portugal. É um porto de águas profundas, com terminais especializados para transporte de diferentes tipos de mercadorias. O porto é a principal porta de entrada de abastecimento energético do país, (recebendo petróleo e derivados, carvão e gás natural). Por outro lado, é uma referência nacional no que diz respeito a tráfego de carga geral/ contentorizada (APS 2016).

No ano de 2015, o porto de Sines foi considerado pela publicação espanhola “Transporte XXI” como o 17º maior porto no segmento de contentores na Europa (Silva 2016). Por outro lado, este porto foi o único porto português a receber o maior navio porta contentores do mundo (MSC Zoe) (Botelho 2015).

4.2 Escolha do método de cálculo a aplicar

Após uma análise de estudos e relatórios, optou-se por uma metodologia muito semelhante e altamente baseada no estudo da Entec (Entec 2010), por diversos motivos: i) é usada uma completa base de dados, que inclui extensa informação acerca dos navios analisados; ii) são tidos em conta os três principais modos de operação e uma grande diversidade de variáveis na frota analisada, o que confere uma maior aproximação da realidade no que diz respeito às quantidades de poluentes emitidas; iii) foi o único estudo, dos analisados, que utilizou FE efetivamente adaptados à área analisada; e iv) o uso do AIS durante o ano 2007 possibilitou uma aproximação realista das rotas efetuadas pelos navios.

Devido à grande quantidade de entradas de navios e das variáveis a analisar, utilizou-se o programa Excel para registrar os dados.

Tal como o estudo da Entec, nesta dissertação foram utilizadas três equações para quantificar as emissões, correspondendo aos três modos de operação analisados, dependendo estas dos seguintes parâmetros: i) potência dos motores; ii) tipo de combustível utilizado; iii) velocidade e distância percorrida por cada navio (ou tempo passado nos modos atracado e manobras); e iv) ano de construção do navio (exclusivamente para as emissões de NO_x).

Emissões em navegação

As emissões dos navios quando estes se encontravam em alto-mar foram quantificadas utilizando a Equação 4, enunciada abaixo:

$$E_{nav(g)} = \frac{D(km)}{v \left(\frac{km}{h} \right)} \times \left[\left(MP(kW) \times FC_{MP}(\%) \times FE \left(\frac{g}{kWh} \right) \right) + MA(kW) \times FC_{MA}(\%) \times FE \left(\frac{g}{kWh} \right) \right] \quad [4]$$

Na Equação 4 E_{nav} representa a massa (g) de um poluente emitido por um navio no modo de navegação ; D representa a distância que um navio percorre entre dois portos (km); v representa a velocidade média de um navio, consoante a categoria (km/h); MP representa o valor da potência do MP (kW); FC_{MP} representa o FC do MP no modo de navegação (%); FE representa o FE atribuído a cada navio no modo de navegação, consoante o tipo de combustível usado e o tipo de motor (g/kWh); MA representa o valor da potência do MA (kW) e FC_{MA} representa o FC do MP no modo de navegação (%).

Emissões no modo atracado

A Equação 5 apresenta o método de quantificação das emissões dos navios que se encontravam atracados nos portos:

$$E_{atr(g)} = T(h) \times \left[\left(MP(kW) \times FC_{MP}(\%) \times FE \left(\frac{g}{kWh} \right) \right) + MA(kW) \times FC_{MA}(\%) \times FE \left(\frac{g}{kWh} \right) \right] \quad [5]$$

Na equação 5, E_{atr} representa a massa (g) de um poluente emitido quando está atracado num porto; T representa a o tempo que um navio passa atracado num porto (h); MP representa o valor da potência do MP (kW); FC_{MP} representa o FC do MP quando o navio está atracado (%); FE representa o FE atribuído a cada navio no modo de navegação, consoante o tipo de combustível usado e o tipo de motor (g/kWh); MA representa o valor da potência do MA (kW) e FC_{MA} representa o FC do MA quando o navio está atracado (%).

Emissões em manobras

A Equação 6 apresenta o método de quantificação das emissões dos navios que se encontravam em manobras de entrada/saída dos portos:

$$E_{man(g)} = T(h) \times \left[\left(MP(kW) \times FC_{MP}(\%) \times FE \left(\frac{g}{kWh} \right) \right) + MA(kW) \times FC_{MA}(\%) \times FE \left(\frac{g}{kWh} \right) \right] \quad [6]$$

Na Equação 6, E_{man} representa a massa (g) de um poluente emitido quando está a manobrar na partida/chegada a um porto; T representa a o tempo que um navio passa em manobras (h); MP representa o valor da potência do MP (kW); FC_{MP} representa o FC do MP em manobras (%); FE representa o FE atribuído a cada navio no modo de navegação, consoante o tipo de combustível usado e o tipo de motor (g/kWh); MA representa o valor da potência do MA (kW); e FC_{MA} representa o FC do MA quando o navio está em manobras (%).

4.3 Receção e análise dos registos das entradas de navios dos portos analisados

Nem todos os portos enviaram dados com o mesmo grau de exatidão e diversidade. As diferenças mais relevantes existentes nos dados enviados pelas autoridades portuárias podem ser observadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Características dos registos de movimentos enviados pelas autoridades portuárias

Portos	Dados referentes aos anos	Grau de pormenorização das datas das chegadas e partidas dos navios	Tempos de manobra	Informação sobre os portos de origem e destino	Identificação e classificação dos navios
Leixões	2013 e 2014	Dias e horas	Fornecido	Fornecida	Número IMO, nome e categoria
Setúbal		Dias e horas	Fornecido	Fornecida	Número IMO, nome e categoria
Viana do Castelo		Dias e horas	Não Fornecido	Não fornecida	Número IMO, nome e categoria
Figueira da Foz	2013	Dias	Fornecido	Fornecida	Número IMO, nome e categoria
Sines	2013, 2014 e 2015	Dias e horas	Não Fornecido	Fornecida	Categoria

De acordo com a Tabela 7, as autoridades portuárias de Leixões e Setúbal foram as que forneceram dados mais completos dos movimentos dos navios, referentes aos anos 2013 e 2014.

4.4 Estimativa dos custos associados

Para estimar os custos associados às emissões, utilizou-se uma metodologia baseada num estudo efetuado por Holland e Watkiss (2002). Escolheu-se esta metodologia por conter parâmetros relativos a países europeus (incluindo a Portugal) e também por ser especialmente dedicada ao setor marítimo, ao contrário de algumas metodologias consideradas que tinham em consideração outras atividades que decorrem em portos, como por exemplo, a circulação de veículos terrestres.

Segundo Holland e Watkiss (2002) a quantificação dos custos dos danos das emissões foi efetuada utilizando a metodologia BeTa (do inglês *Benefits Database*), desenvolvida pela Agência Europeia do Ambiente. É seguida uma aproximação *Impact Pathway*, que efetua uma estimativa dos custos da poluição atmosférica, baseando-se em modelos de dispersão e de poluentes e de fenómenos químicos, sendo os dados registados por recetores específicos. Posteriormente, é atribuído um custo económico a cada poluente, consoante os danos que se consideram que as emissões do mesmo provocam. Os custos associados a cada poluente dependem, no entanto, de alguns fatores, tais como: i) níveis locais de poluição atmosférica; ii) localização geográfica; iii) condições atmosféricas; e iv) outros.

Para o cálculo, foram tidos em conta os seguintes efeitos: i) danos crónicos, a nível de saúde (problemas respiratórios, entre outros), no caso das PM; ii) danos a curto termo (agudos), causados pelas PM, SO₂ e NO_x na saúde; iii) efeitos do SO₂ na acidificação nos materiais usados na constituição de edifícios e de outras estruturas (casas, pontes, entre outros), exceto danos causados a estruturas de valor cultural significativo (estátuas, igrejas, entre outros); e iv) efeitos do ozono no rendimento agrícola.

Por outro lado, os seguintes efeitos foram desprezados: i) danos causados na agricultura por compostos não azóticos; ii) alteração da visibilidade no local em questão; iii) impactes nos ecossistemas devido a doses de poluentes que ultrapassem os valores críticos; iv) danos a estruturas de valor cultural; v) efeitos do ozono em materiais, como a borracha; v) efeitos macroeconómicos causados pela redução do rendimento agrícola e danos a estruturas de valor cultural e vi) outros efeitos não enunciados. No entanto, os efeitos não considerados representam uma minoria quando comparados com os que são efetivamente contabilizados (Holland and Watkiss 2002).

A quantificação dos efeitos em áreas urbanas é efetuada tendo em conta apenas os efeitos das PM e do SO₂, já que é assumido que os poluentes NO_x e COV necessitam de ser transportados ao longo de uma certa distância antes que os mesmos gerem, através de reações químicas,

poluentes secundários como nitratos e ozono, cuja contribuição para a poluição atmosférica é mais representativa do que os poluentes que lhes deram origem. Já o SO₂ e as PM causam danos nas suas formas originais. Assim, a quantificação do custo atribuído a cada poluente divide-se em duas partes: primeiramente, é calculado o custo atribuído a danos de curto alcance (locais), ao qual é adicionado o custo do dano de longo alcance (rural), para que sejam contabilizados ambos os tipos de efeitos (Holland e Watkiss 2002).

O estudo de Holland e Watkiss (2002) atribuiu custos aos seguintes poluentes: i) NO_x; ii) SO₂; iii) PM_{2,5} e iv) COV, pelo que, nesta dissertação não foram atribuídos custos às emissões de CO₂. Para a determinação da quantidade das PM_{2,5}, foi tida em conta uma assunção efetuada pelo estudo Entec de 2010, que afirma que a quantidade de PM_{2,5} equivale a 90% das PM totais (Entec 2010).

Para a atribuição do custo de cada poluente, em cada porto, utilizou-se a Equação 7 tendo sido calculados os custos referentes aos modos de manobra e atracado, isto é, de quando os navios estão, efetivamente, nos portos:

$$Custo_{poluente} [\text{€}] = Quantidade\ emitida [ton] \times (FCE_{rural} [\frac{\text{€}}{ton}] + FCE_{local} [\frac{\text{€}}{ton}]) \quad [7]$$

Na Equação 7, $Custo_{poluente}$ diz respeito ao custo económico associado a um determinado poluente num determinado porto (€); $Quantidade\ emitida$ refere-se à quantidade total desse poluente emitida, para o porto em questão (ton); FCE_{rural} diz respeito ao valor do FCE relativo ao custo económico referente a danos a longo alcance, associado ao poluente (€/ton) e FCE_{local} refere-se ao FCE relativo ao dano local causado pela emissão do poluente em questão, no porto em que é efetuada a sua quantificação (€/ton).

5 Resultados e Discussão

Os portos analisados neste estudo, como referido anteriormente, foram: i) Leixões (2013 e 2014); ii) Setúbal (2013 e 2014); iii) Viana do Castelo (2013 e 2014); iv) Figueira da Foz (2013) e v) Sines (2013, 2014 e 2015).

5.1 Cálculos Preliminares

De acordo com a metodologia do estudo Entec (2010), as variáveis que entram no cálculo das emissões dependem da categoria de cada navio. Neste estudo, foram tidas em consideração oito categorias: i) Cargueiro Geral; ii) Porta-Contentores; iii) Cargueiro Ro-Ro; iv) Navio Cisterna; v) Navio de Passageiros; vi) Graneleiro; vii) Navio de Pesca; e viii) Outros. O estudo Entec 2010 contém uma lista de generalizações de categorias, efetuada para que todas as categorias de navios convergissem nestas oito categorias. Esta lista pode ser analisada com detalhe no Anexo B. Para cada categoria, o estudo Entec 2010 utilizou um determinado valor de potência do MP e MA, tipo de combustível utilizado por estes e valor da velocidade média.

Assim, nesta dissertação, por forma a poder utilizar os valores destes parâmetros de uma maneira o mais fidedigna possível, optou-se por atribuir uma classificação semelhante ao estudo Entec 2010. Apesar de todas as autoridades portuárias enviarem os nomes e categorias de cada navio, existia o risco de haver diferença de critérios no que diz respeito à classificação dos navios por parte dos portos. Tal induziria uma enorme margem de erro, já que ao mesmo navio, em portos diferentes, seriam atribuídos valores de variáveis diferentes, resultando numa disparidade no cálculo das emissões entre portos diferentes para uma classe que devia ser a mesma. Por forma a suprimir ou minimizar esta incerteza, recorreu-se principalmente à plataforma Marine Traffic para a correta e global caracterização dos navios. Esta plataforma resulta de um projeto desenvolvido pela Universidade Grega de Aegean e fornece informação em tempo real sobre as posições e especificações técnicas de navios que tenham o sistema AIS instalado, tais como: i) categoria do navio; ii) nome e número IMO; iii) velocidade atual; iv) posição; v) tonelagem bruta; vi) peso morto; e vii) ano de construção (Marine Traffic 2015). A plataforma contém ainda informações sobre portos e possibilita a visualização dos navios em tempo real, conforme pode ser observado na Figura 2. As cores de cada navio dizem respeito à sua categoria.



Figura 2 - Visualização da página do Marine Traffic que permite analisar a posição de cada navio no globo terrestre (Marine Traffic)

Assim, o procedimento base para identificar cada navio foi a inserção do número IMO na plataforma, que faz a correspondência entre o número e o navio respetivo. Devido ao fato de os navios mudarem frequentemente de nome e de poder existir mais do que um navio com o mesmo nome, a identificação pelo número IMO é preferível, já que cada número identifica um e só um navio. Depois de inserir o número IMO, a plataforma dirige o utilizador para uma página em que consta informação precisa desse mesmo navio. A Figura 3 representa a visualização dessa mesma página.

SAN JORGE
 Ro-Ro Cargo

IMO: 9186637
 MMSI: 345040028
 Indicativo: XCAR7
 Bandeira: Mexico [MX]
 AIS Tipo: Cargo

Tonelagem Bruta: 13073
 Porte bruto: 5700 t
 Comprimento de fora a fora (LOA) x Largura extrema: 142m x 23m
 Ano de construção: 2000
 Estado: Ativo

Informação relativa à viagem

For full access [Upgrade](#)

MX PIC
 ATD: 2016-06-16 00:19
 ETA: **i**

[Past Track](#) [Route Forecast](#)

Distance Travelled: ●●●●●

Calado: 4.8m

Velocidade registada (Máx/Média): 18.2 / 17.3 knots

[Histórico do itinerário](#) [Últimas posições](#)

VESSEL TIMELINE
 CLICK AND DRAG IN THE PLOT AREA TO ZOOM IN

Enviar foto Fotos do navio: 259

Figura 3 - Visualização da página do Marine Traffic que permite a análise das características de cada navio (Marine Traffic)

Assim, utilizando a plataforma do *Marine Traffic*, foi verificada qual categoria de navio estava associada a um número IMO, sendo essa categoria aproximada a uma das 8 categorias do estudo Entec 2010.

Nos casos em que o número IMO não constava nos dados fornecidos pela entidade portuária, recorreu-se a outras plataformas, como *Fleetmon* e *Vessel Finder* e, em último caso, pesquisava-se o nome do navio no Google, como foi o caso de navios de guerra ou rebocadores. Se não fosse possível caracterizar desta maneira algum navio, então o mesmo era assumido como pertencente à categoria “Outros”, construído antes de 2000 e com o tipo de motor MSD. No entanto, os dados fornecidos pelo porto de Sines não identificavam os navios nem pelo nome nem pelo número IMO, tendo sido utilizada a classificação efetuada pela autoridade portuária. Na impossibilidade de utilizar a plataforma *Marine Traffic*, adaptaram-se diretamente as categorias identificadas pela respetiva autoridade portuária às oito consideradas pelo estudo Entec (2010). Aos dados do porto de Sines foi aplicada, portanto, uma classificação diferente em comparação com os dados dos restantes quatro portos o que pode induzir alguma margem

de erro no cálculo das emissões, já que as classificações atribuídas pelo porto diferem de maneira considerável das atribuídas pelo *Marine Traffic*.

Tempo de Manobra

Como se pode verificar na Tabela 7, as autoridades portuárias de Setúbal, Leixões, Figueira da Foz e Sines enviaram dados relativos aos tempos de manobra para entrada e saída dos portos, com os valores respetivos de 2,00h, 1,71h, 0,92h e 2,00h. Para o porto de Viana do Castelo, a informação relativa ao tempo de manobra não foi incluída nos dados enviados, tendo sido assumido o valor de 2,00h.

Tempo Atracado

O tempo que cada navio passava atracado num porto foi determinado ao calcular a diferença entre a data de saída e a data de entrada. Todas as autoridades portuárias enviaram informação relativa aos dias e horas. No entanto, os dados enviados pela autoridade portuária de Figueira da Foz apenas incluíam as horas nas datas de entrada e não nas datas de saída. Assim, optou-se por não se considerar as horas de entrada neste porto e, para os navios que entrassem e saíssem do porto do mesmo dia, assumiu-se um tempo de atracado de 12h. Para os restantes, foi calculada a diferença entre a data de saída e a data de entrada.

Tempo de Navegação dos navios

A contabilização do tempo de navegação de cada entrada efetuou-se através do quociente entre a distância percorrida pelo navio numa extensão de território marítimo que ficava a 400 km da costa portuguesa e a velocidade assumida como a do navio, que como visto acima, dependia da categoria.

De maneira a quantificar as distâncias percorridas pelos navios, recorreu-se a um programa de cálculo de rotas de navegação e distâncias, a Tabela de Distâncias da Dataloy (TDD). Caracterizado pela extensão de informação e grau de precisão, a base de dados deste programa inclui mais do que 7 200 portos e mais do que 69 000 pontos de rotas. Quanto maior o número de pontos de rotas existentes, mais fiel é a representação e quantificação das distâncias percorridas (Dataloy Systems 2016). A interface do programa pode ser visualizada na Figura 4.

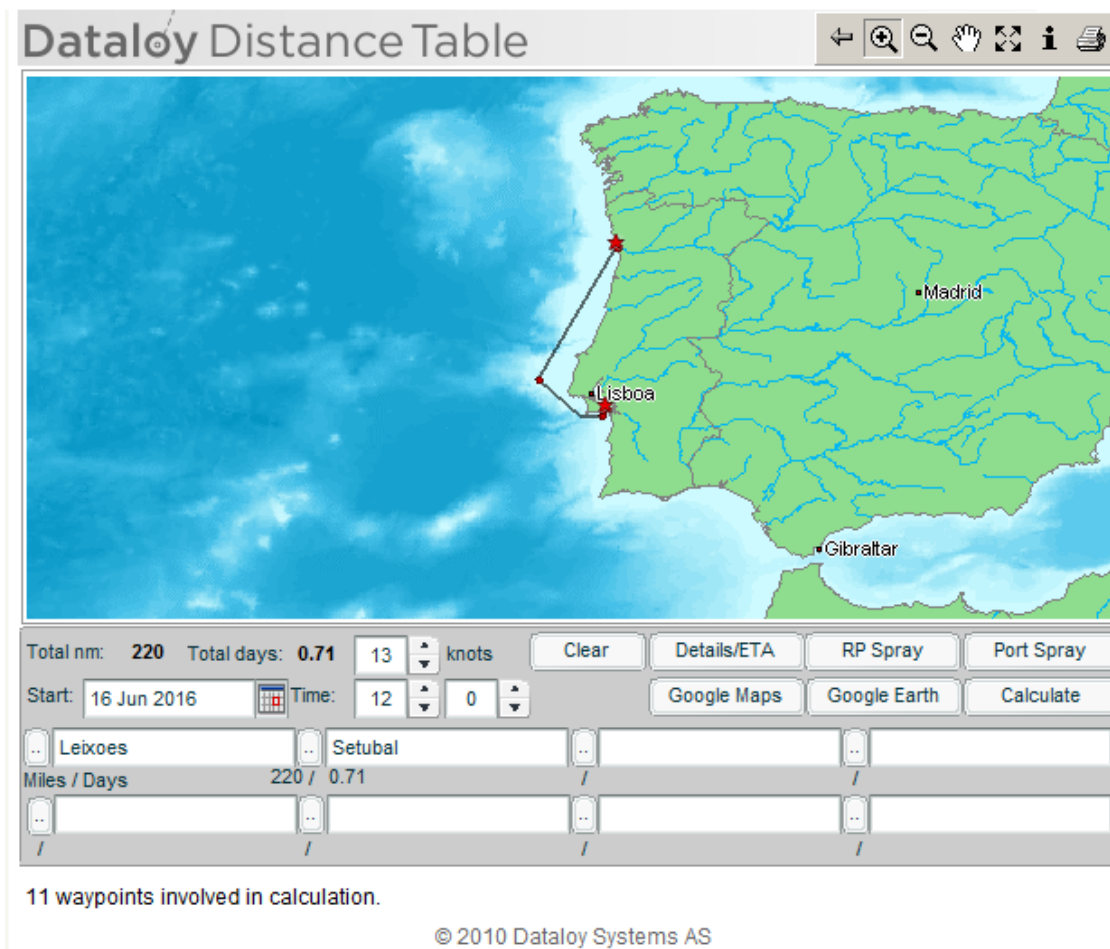


Figura 4 - Visualização do menu principal do programa Tabela de Distâncias Dataloy

Ao inserir o nome dos portos de partida e chegada, o programa traça a rota entre os 2 locais. Além disto, o programa tem a capacidade de exportar os dados para o *Google Earth*, de maneira a que seja possível quantificar a distância percorrida por cada navio a partir do limite do território delimitado, neste caso a fronteira de 400 km. Na Figura 5, é possível visualizar a rota escolhida no TDD, bem como a fronteira delimitadora que se criou.



Figura 5 - Visualização da janela do Google Earth com a rota definida na Tabela de Distâncias Dataloy

No caso em que um dos portos se localizasse fora da região delimitada, era necessário “apagar” a rota percorrida fora da região, de maneira a contabilizar-se apenas a distância percorrida dentro da fronteira.

Uma vez que cada rota é dividida em vários pontos de rota, o método para esta quantificação de distância baseia-se na eliminação sucessiva de pontos que antecedem o último ponto antes da zona limitada a amarelo. Depois disto, criou-se um ponto de rota em cima da linha de fronteira, tendo havido o cuidado de fazer o máximo de ampliação possível, para que o novo ponto de rota se localizasse efetivamente em cima da linha de fronteira. Criado este ponto, procedeu-se à eliminação do ponto imediatamente exterior à zona delimitada. Desta forma, obteve-se a distância percorrida por um navio proveniente de um determinado porto para o porto que se queria analisar, a partir da fronteira estabelecida de 400 km. Nas Figuras 6 e 7 podem ser visualizadas as duas fases que fazem parte da quantificação de rotas em que um dos portos não pertence ao território analisado.



Figura 6 - Ilustração da interface do Google Earth que fornece a distância total entre um porto pertencente à zona analisada (Viana do Castelo) e um porto que se localiza fora desta zona (La Rochelle) (Adaptado de Google Earth)

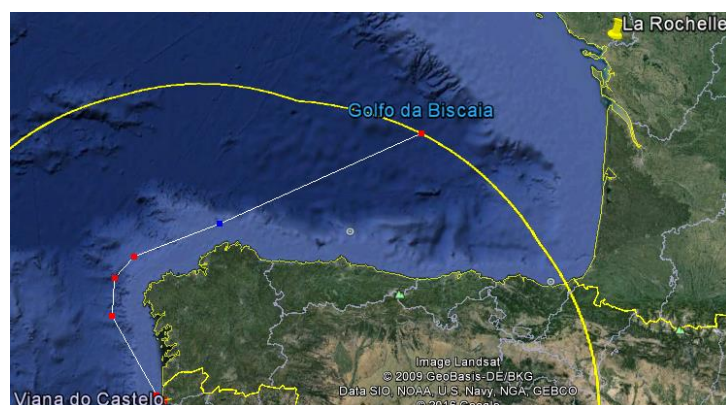


Figura 7 - Ilustração da interface do Google Earth que fornece a distância total entre um porto pertencente à zona analisada e um porto que se localiza fora desta zona, depois de “cortar” o percurso não relevante (Adaptado de Google Earth)

A distância total percorrida por cada navio foi obtida pela soma da distância de um porto de origem até ao porto que se está a analisar e deste até: i) ao porto de destino, se este se localizar dentro da fronteira; ou ii) até ao ponto da fronteira coincidente com a rota até esse porto de destino, se este se localizar fora da fronteira.

As informações relativas aos portos de origem e destino estavam disponíveis nos dados enviados por todas as entidades portuárias, exceto nos de Viana de Castelo. Este porto enviou dados incompletos, o que inviabilizou o cálculo da distância total percorrida por cada navio e, por conseguinte, foi impossível quantificar as emissões dos navios durante o modo de navegação, como já foi referido.

A informação contida nos dados fornecidos pelas restantes autoridades portuárias continha então no caso dos dados de Leixões e Sines: i) nome dos portos de origem e destino; ii) códigos dos portos de origem e destino; iii) códigos dos países onde se situam os portos de origem e destino. Já no caso de Setúbal e Figueira da Foz, foram apenas referidos os nomes dos portos de origem e destino para cada entrada analisada.

Como no caso dos navios, a maneira preferencial de identificar os portos é o recurso ao código de cada um, já que se verificou que existem portos em países diferentes com o mesmo nome. Assim, para os dados de Leixões e Sines, este procedimento foi efetuado recorrendo às bases de dados da UNECE e do *Marine Traffic*. No caso de haver um código que não correspondesse a nenhum porto nas duas bases de dados, pesquisou-se o mesmo no motor de busca *Google*, inserindo-se posteriormente o nome do porto no TDD. Se não fosse possível identificar o porto, atribuíam-se o valor da distância mais frequente para o país onde o referido porto se localizava ou; ii) o valor da única distância para o país ou zona em questão. Por exemplo, se o código pertencesse a um país localizado na zona nórdica da Europa, a distância que este percorreria a partir da zona de 400 km seria a mesma que outro país dessa mesma zona, desde que as rotas de ambos convergissem antes de alcançarem a fronteira definida.

No caso dos dados dos portos de Setúbal e de Figueira da Foz, o facto de apenas ser atribuído o nome dos portos causou um pouco mais de dificuldade na sua identificação. Neste caso, se o TDD indicasse que havia mais do que um porto com o mesmo nome, era escolhido aquele que implicasse uma maior distância percorrida no território analisado. Se a plataforma não identificasse o porto pelo nome, recorria-se a uma pesquisa pelo nome no *Marine Traffic* e no *Google*, de maneira a localizar o porto em questão. Posteriormente, era escolhido um porto que se localizasse perto do que se queria determinar e que constasse na base de dados do TDD, de maneira a obter a mesma distância dentro da zona analisada.

O ano de construção dos navios, importante para a atribuição dos FE de NO_x, foi frequentemente incluído na informação facultada pelas entidades portuárias. Nos casos em que, depois de pesquisar nas bases de dados da *Marine Traffic*, *Fleetmon*, *Vessel Finder* e, numa pesquisa mais geral, no *Google*, foi impossível determinar o ano de construção do navio, assumiu-se que o mesmo fora construído antes de 2000, de maneira a contar com o pior cenário possível. O mesmo procedimento de pesquisa foi utilizado para a determinação da GT e do peso morto dos navios, que não constaram em todos os ficheiros enviados pelas entidades portuárias.

Utilizaram-se os valores das velocidades e das potências do MP e MA para cada categoria que foram usados no estudo Entec 2010. Estes valores podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores da Potência dos MP, MA e velocidades utilizadas para cada categoria (adaptado de Entec 2010)

Categoria dos Navios	Potência (kW)		Velocidade do navio em modo navegação (km/h)
	MP	MA	
Graneleiro	8979	1924	26,11
Porta Contentores	24207	5417	39,26
Navio de Pesca	1924	1229	24,08
Cargueiro Geral	3019	981	24,45
Outros	2092	610	23,71
Navio de Passageiros	4501	1579	38,15
Cargueiro Ro-Ro	8368	2526	33,34
Navio Cisterna	9048	2448	26,48

No que diz respeito ao tipo de combustível utilizado, foram aplicadas nesta dissertação as assunções e respetivas exceções consideradas pelo estudo da Entec (2010), discriminadas na Tabela 9. Os teores de enxofre considerados para os diferentes combustíveis podem ser observados na Tabela 10.

Tabela 9 - Tipo de combustível usado nos MP e MA, para cada categoria (adaptado de Entec 2010)

Categoria dos Navios	Combustível usado no MP	Combustível usado no MA
Graneleiro	RO	MGO
Porta Contentores	RO	RO
Navio de Pesca	MGO (MDO se GT > 2500)	MGO
Cargueiro Geral	RO	MGO
Outros	MGO (MDO se GT > 2500)	MGO
Navio de Passageiros	MDO (MGO se Pot > 4x Peso Bruto)	MDO (MGO se Pot > 4x Peso Bruto)
Cargueiro Ro-Ro	RO	RO (MGO se GT < 5000)
Navio Cisterna	RO	MGO

Pot - Potência

Tabela 10 - Teor de enxofre assumido nos combustíveis usados, no ano de 2007 (adaptado de Entec 2010)

Combustível	Teor de Enxofre (%)
MGO	0,2
MDO	1,5
RO	2,7

Utilizou-se o modo de classificação por tipo de MP utilizado no estudo Entec 2010. De acordo com o mesmo: i) um navio do tipo HSD tem um valor de velocidade angular do MP superior a 1 000 rpm; ii) um navio do tipo MSD tem um MP de valor de velocidade angular menor que 1 000 rpm e maior ou igual a 300 rpm e iii) um navio com um valor de velocidade angular de MP menor ou igual que 300 rpm é classificado como SSD. Dividindo as GT de todos os navios da frota analisada pelo estudo em três gamas, assumiu-se a classificação do tipo de motor dominante para cada uma dessas gamas de GT como o tipo de motor para essa mesma gama. No caso dos MA, foi assumido que todas as categorias de navios tinham motores MSD ou HSD, sem distinção. A classificação atribuída está discriminada na Tabela 11.

Tabela 11 - Classificação das categorias analisadas consoante a GT (adptado de Entec 2010)

	Condição	Tipo de MP assumido	Tipo de MA assumido
Graneleiro	$GT \leq 5000$	MSD	MSD / HSD
Cargueiro Geral			
Navio Cisterna	$GT > 5000$	SSD	MSD / HSD
Porta-Contentores	$GT \leq 25\ 000$	MSD	MSD / HSD
Cargueiro Ro-Ro			
Outros	$GT > 25\ 000$	SSD	MSD / HSD
Navio de Passageiros	$GT \leq 5\ 000$	HSD	MSD / HSD
	$GT > 5\ 000$	MSD	MSD / HSD
Navio de Pesca	Para todos os valores de GT	MSD	MSD / HSD

Fatores de Carga e Fatores de Emissão

Os valores dos FC e FE foram também retirados do estudo Entec 2010. Os primeiros dependiam de: i) MP ou MA; e ii) modo de operação. Os valores utilizados estão descritos na Tabela 12.

Tabela 12 - Fatores de Carga utilizados (Adaptados de Entec 2010)

	Fator de carga do MP (%)	Fator de carga dos MA (%)
Navegação	80	30
Em manobras	20	50
Atracado	20	40

Já os FE dependiam das seguintes variáveis: i) MP ou MA; ii) tipo de motor; iii) tipo de combustível utilizado; iv) modo de operação do navio; e v) no caso da quantificação das emissões de NO_x, do ano de construção do navio. Tal foi considerado para ter em conta o Código Técnico para o Controlo de Emissões de NO_x por Motores Marítimos a Diesel, que obrigou a que os motores dos navios construídos após 1 de janeiro de 2000 sofressem alterações que diminuíssem as emissões de NO_x. Assim, os FE dos NO_x para navios construídos após o ano de 2000 foram obtidos aplicando uma redução de 17% ao valor respetivo de um navio construído antes do ano 2000. Os valores dos FE utilizados para os modos de operação de: i) navegação para os MP; ii) manobras e atracado para o MP; e iii) para os três modos para o MA estão discriminados, respetivamente, nas Tabelas 13, 14 e 15.

Tabela 13 - Fatores de Emissão (g/kWh) dos MP em navegação (adaptado de Entec 2010)

Tipo de motor/ Combustível utilizado		NO _x antes de 2000	NO _x após 2000	SO ₂	CO ₂	COV	PM
SSD	MGO	17,0	14,1	0,7	588,0	0,6	0,3
SSD	MDO	17,0	14,1	5,6	588,0	0,6	0,3
SSD	RO	18,1	15,0	10,5	620,0	0,6	1,7
MSD	MGO	13,2	11,0	0,8	645,0	0,5	0,3
MSD	MDO	13,2	11,0	6,2	645,0	0,5	0,4
MSD	RO	14,0	11,6	11,5	677,0	0,5	0,8
HSD	MGO	12,0	10,0	0,8	645,0	0,2	0,3
HSD	MDO	12,0	10,0	6,2	645,0	0,2	0,4
HSD	RO	12,7	10,5	11,5	677,0	0,2	0,8

Tabela 14 - Fatores de Emissão (g/kWh) dos MP em manobras e atracado (adaptado de Entec 2010)

Tipo de motor/ Combustível utilizado		NO _x antes de 2000	NO _x após 2000	SO ₂	CO ₂	COV	PM
SSD	MGO	13,6	11,3	0,8	647,0	1,8	0,9
SSD	MDO	13,6	11,3	6,2	647,0	1,8	1,2
SSD	RO	14,5	12,0	11,6	682,0	1,8	2,4
MSD	MGO	10,6	8,8	0,9	710,0	1,5	0,9
MSD	MDO	10,6	8,8	6,8	710,0	1,5	1,2
MSD	RO	11,2	9,3	12,7	745,0	1,5	0,4
HSD	MGO	9,6	8,0	0,9	710,0	0,6	0,9
HSD	MDO	9,6	8,0	6,8	710,0	0,6	1,2
HSD	RO	10,2	8,5	12,7	745,0	0,6	0,4

Tabela 15 - Fatores de Emissão (g/kWh) dos MA (adaptado de Entec 2010)

Tipo de motor/ Combustível utilizado		NO _x antes de 2000	NO _x após 2000	SO ₂	CO ₂	COV	PM
M/H SD	MGO	13,9	11,5	0,9	690,0	0,4	0,3
M/H SD	MDO	13,9	11,5	6,5	690,0	0,4	0,4
M/HSD	RO	14,7	12,2	12,3	722,0	0,4	0,8

Analisando as Tabelas 13, 14 e 15, podem ser feitas algumas observações, relativamente aos FE dos MP: i) o FE do CO₂ é muito maior do que os dos restantes poluentes, o que faz sentido já que os combustíveis são compostos maioritariamente por hidrocarbonetos que se libertam após a combustão; ii) para todos os poluentes, o valor máximo do FE é atingido quando é usado RO como combustível, indicando que este é o tipo de combustível que maior quantidade de poluentes liberta; iii) os FE de SO₂ e PM revelam-se como os que sofrem um maior acréscimo quando se consome RO; iv) apenas para o SO₂ e para as PM há diferenças entre os valores dos FE relativos ao consumo de MGO e MDO; iv) para os MP, há um maior valor dos FE em navegação para os NO_x, ao passo que para os restantes poluentes é atribuído um maior FE quando os navios estão atracados ou em manobras; e v) os COV são os únicos dos poluentes analisados cujo valor do FE é independente do combustível consumido.

5.2 Entradas de navios

Na Tabela 16 pode observar-se o número de navios que deram entrada nos portos analisados em 2013, 2014 e 2015 (quando disponíveis).

Tabela 16 - Entradas dos navios nos portos analisados

Ano	Leixões	Setúbal	Figueira da Foz	Viana do Castelo	Sines
2013	2564	1350	530	199	1982
2014	2612	1514	n.d.	182	1982
2015	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2162

n.d. - não disponível

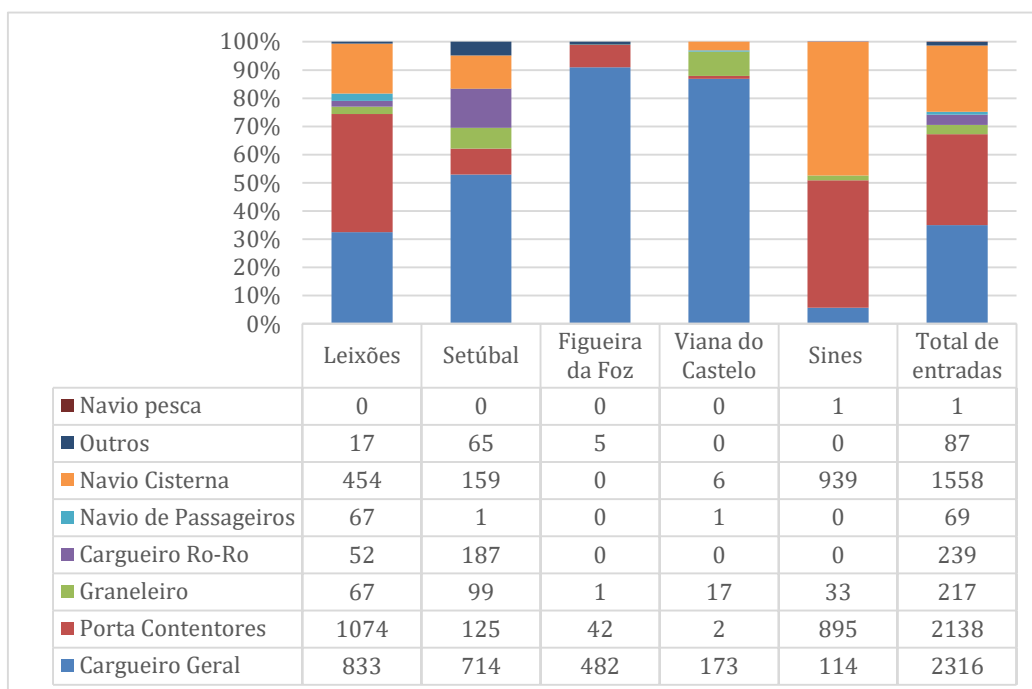
A Tabela 16 mostra que os portos que receberam mais entradas foram os de Leixões e Sines. Nos portos de Leixões e Setúbal houve um aumento de 1,8% e 10,8%, respetivamente, no número de navios que atracaram de 2013 para 2014. No porto de Sines, o número de entradas foi o mesmo para 2013 e 2014, mas teve um crescimento de 8,3% em 2015. Os portos de Figueira da Foz e Viana do Castelo foram os que registaram menores números de entradas de navios, sendo o porto de Viana do Castelo o único em que se regista uma diminuição de entradas de navios de 2013 para 2014.

As Figura 8a) a 8c) discriminam o número de entradas por categoria de navio para os portos analisados em 2013, 2014 e 2015 respetivamente.

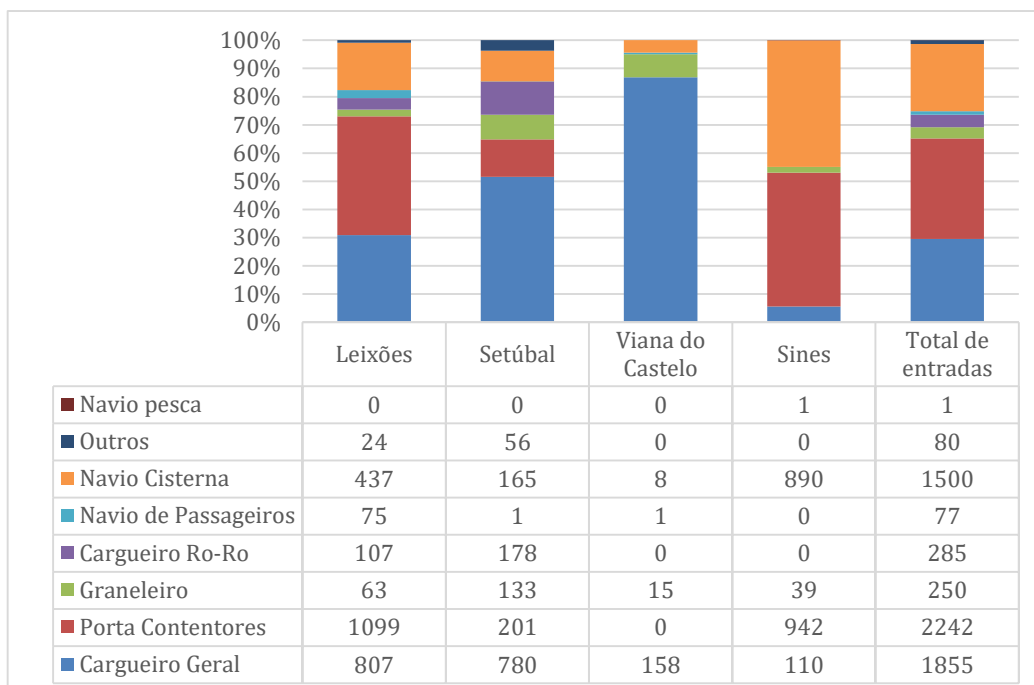
Analisando as Figuras 8a) a 8c) é possível verificar que, em geral, nos anos 2013 e 2014, as categorias dominantes foram Cargueiro Geral e Porta Contentores. Também é possível verificar que, para estes anos, os navios que atracaram no porto de Leixões foram os que emitiram maior quantidade de poluentes. Para tal, contribuiu principalmente o número de entradas superior que se verificou neste porto. Por outro lado, o porto de Leixões foi o único dos analisados que recebeu uma quantidade considerável de Navios de Passageiros, sendo que nos restantes portos, em todos os anos, o número de navios desta categoria nunca foi superior a 1. Assim, este porto revela uma maior propensão para o transporte marítimo de passageiros do que os restantes portos.

No caso do porto de Setúbal, constatou-se também que a categoria de Cargueiro Geral foi a dominante nos dois anos analisados, correspondendo a mais de metade das entradas registadas. Merece destaque o facto de, tanto em 2013 como 2014, o porto de Setúbal ser o que recebe mais Cargueiros Ro-Ro e Graneleiros, evidenciando ser o porto mais ativo na secção

do transporte de veículos e de material seco a granel, como descrito na página oficial da Associação de Portos de Portugal (APP 2016b).

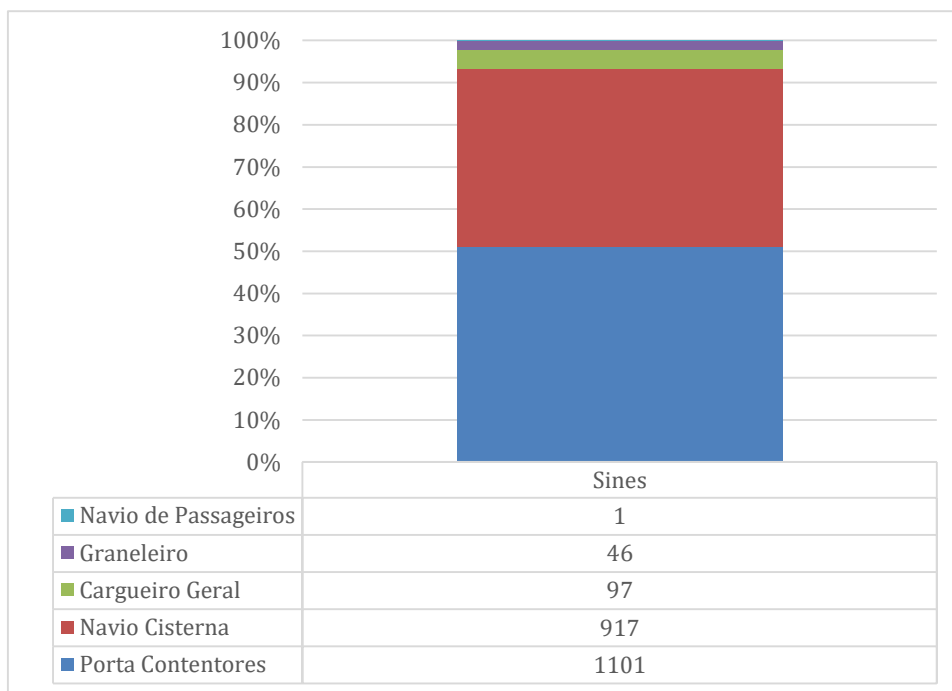


a)



b)

Figura 8 - Número de entradas por categoria de navio para os portos analisados em a) 2013; b) 2014 e c) 2015



c)

Figura 8 (continuação) - Número de entradas por categoria de navio para os portos analisados em a) 2013; b) 2014 e c) 2015

No que diz respeito ao porto da Figueira da Foz é possível verificar que, no ano 2013, foi registada uma menor quantidade de entradas de navios, comparativamente com os portos de Leixões, Setúbal e Sines. A categoria de Cargueiro Geral é altamente representativa neste porto, correspondendo praticamente a 91% de todas as entradas analisadas. A categoria de Porta Contentor ocupa a 2ª posição, com quase 8% de todas as entradas, correspondendo o resto das entradas às categorias de Outros e Graneleiro. Este porto foi, por um lado, aquele em que houve uma maior dominância de uma categoria de navio e que, por outro, recebeu uma menor variedade de categorias de navios.

O porto de Viana do Castelo foi o que, nos anos 2013 e 2014, registou menos entradas de navios. É possível verificar que, nos dois anos analisados, a categoria dominante nos navios que atracaram neste porto é Cargueiro Geral. Por outro lado, merece destaque o facto de o ano de 2014 para Viana do Castelo ser a única combinação porto/ano analisada sem registos de entrada de navios Porta Contentores.

No porto de Sines, é possível verificar que as categorias dominantes foram Porta-Contentores e Navio Cisterna, sendo que 2013 foi o único ano em que se registaram mais entradas de Navios Cisterna. A dominância desta categoria vai de encontro ao que foi pesquisado na página oficial da APP, que considera este porto como o mais importante, a nível

nacional, na receção de navios transportadores de petróleo, gás natural e outras mercadorias ligadas ao setor energético (APP 2016e). Já nos anos 2014 e 2015, a maior parte das entradas neste porto deveu-se a Porta Contentores. Por outro lado, não foram atribuídos a Sines navios das categorias de Cargueiros Ro-Ro e Outros, sendo as categorias de Navio de Pesca e Navio de Passageiros as menos frequentes. Efetivamente, este foi o único porto em que foram registadas entradas de Navios de Pesca. A explicação para tal é o facto de, em grande parte das bases de dados pesquisadas, os Navios de Pesca serem identificados como Graneleiros. Como já referido, para a caracterização dos navios do porto de Sines, não foram utilizadas bases de dados, pelo que, utilizando a própria classificação das entradas atribuídas pela respetiva autoridade portuária, se manteve a designação de Navios de Pesca. Assim, é importante ressaltar que o diferente modo de classificação utilizado para as entradas de navios neste porto levou certamente, para alguns navios, a uma atribuição de categoria diferente, o que faz com que sejam atribuídos parâmetros ou especificações técnicas também diferentes.

5.3 Cálculo das emissões

5.3.1 Emissões Totais por Porto

Nas Tabelas 17, 18 e 19 estão descritas as emissões específicas de cada poluente calculadas para cada ano, bem como os valores das percentagens dos mesmos, dependendo do porto em questão. Uma vez que se considerou, nesta dissertação, que a quantidade das $PM_{2,5}$ equivale a 90% das PM totais e a quantidade de PM com diâmetro aerodinâmico inferior a $10\ \mu m$ (PM_{10}) equivale a 95% das PM, os valores das $PM_{2,5}$ e PM_{10} não foram considerados para o cálculo das emissões totais de poluentes, tendo sido apenas usada a quantidade total de PM.

Tabela 17 - Emissões de cada poluente (toneladas) para cada porto em 2013

	Leixões		Setúbal		Figueira da Foz		Viana do Castelo		Sines	
CO ₂	845 886	96,5%	404 466	96,4%	42 118	96,8%	10 171	96,9%	826 600	96,1%
NO _x	15 255	1,7%	7 832	1,9%	700	1,6%	164	1,6%	17 819	2,1%
SO ₂	13 437	1,5%	5 947	1,4%	560	1,3%	119	1,1%	13 012	1,5%
PM	1 413	0,2%	859	0,2%	75	0,2%	23	0,2%	1 869	0,2%
PM _{2,5}	1 272		773		68		21		1 682	
PM ₁₀	1 342		816		71		22		1 776	
COV	854	0,1%	519	0,1%	50	0,1%	16	0,2%	935	0,1%
Total	876 845		419 623		43 503		10 493		860 236	

Tabela 18 - Emissões de cada poluente (toneladas) para cada porto em 2014

Poluente	Leixões		Setúbal		Viana do Castelo		Sines	
CO ₂	855 919	96,1%	464 208	96,1%	8 833	96,6%	839 132	96,1%
NO _x	15 546	1,7%	8 864	1,8%	140	1,5%	17 982	2,1%
SO ₂	13 614	1,5%	6 663	1,4%	101	1,1%	13 232	1,5%
PM	1 501	0,2%	931	0,2%	20	0,2%	1 896	0,2%
PM _{2,5}	1 351		838		18		1 706	
PM ₁₀	1 426		884		19		1 801	
COV	888	0,1%	569	0,1%	14	0,2%	952	0,1%
Total	890 245		482 957		9 145		873 194	

Tabela 19 - Emissões de cada poluente (toneladas) para o porto de Sines em 2015

Poluente	Sines	
CO ₂	886 839	96,0%
NO _x	19 463	2,1%
SO ₂	14 039	1,5%
PM	2 029	0,2%
PM _{2,5}	1 826	
PM ₁₀	1 928	
COV	984	0,1%
Total	923 354	

Como é possível analisar nas Tabelas 17, 18 e 19 verifica-se em todos os portos uma distribuição relativamente semelhante de poluentes emitidos, apesar das diferentes quantidades analisadas. Como esperado, as emissões de CO₂ foram dominantes, cuja percentagem mínima nos anos e portos analisados foi de 95,7%. A seguir ao CO₂, os poluentes mais emitidos foram os NO_x, o SO₂, as PM e, por fim, os COV.

Efetuada uma análise individual à evolução das emissões totais de cada porto, é possível verificar que os portos de Leixões, Setúbal e Viana do Castelo apresentaram uma proporcionalidade direta entre o número de entradas de navios e o total de emissões. De 2013 para 2014, os portos de Leixões e Setúbal tiveram aumentos de entradas de, respetivamente, 1,8% e 10,8%, o que contribuiu para um aumento de emissões totais de, respetivamente, 1,2% e 12,8%. Já no porto de Viana do Castelo, houve um decaimento de entradas de navios de 8,5% que contribuiu para uma diminuição de 13,2% nas emissões totais.

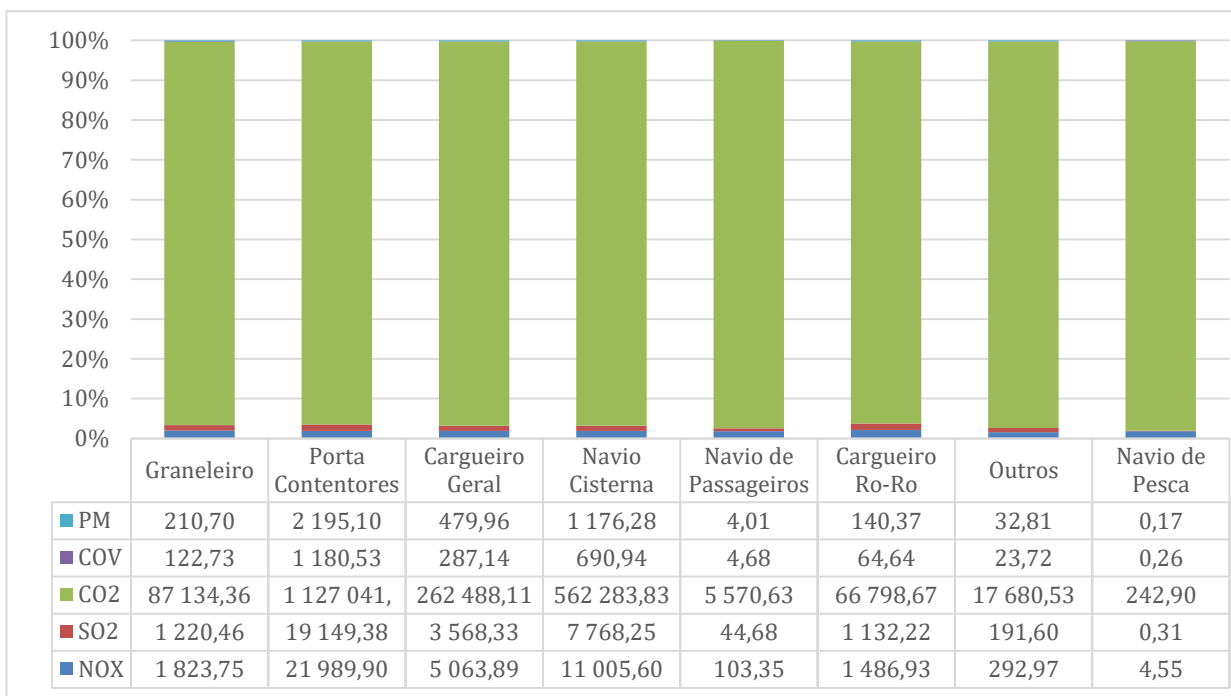
No entanto, no porto de Sines, e tendo como referência o ano 2013, apesar de o número de entradas não se ter alterado para 2014 e ter subido 8,5% em 2015, a quantidade de emissões aumentou 1,5% para 2014 e 6,9% para 2015. O aumento de emissões de 2013 para 2014 deve-se ao maior número de entradas de Porta Contentores em 2014, categoria à qual foi associado o consumo de RO em MP e MA, que é o combustível com maiores valores de FE como se pode observar nas Tabelas 13, 14 e 15.

De acordo com as Tabelas 17 e 18, constata-se que em 2013 e 2014 a maior quantidade de poluentes foi emitida por navios que atracaram no porto de Leixões. Este foi o porto em que foram registadas, nos dois anos, mais entradas de navios, provando assim a importância desta variável na quantificação de emissões de navios de um porto. Por outro lado, os tempos de atividade de cada modo são também importantes, na medida em que, apesar de globalmente as maiores quantidades de emissões serem associadas a Leixões, ao porto de Sines foram associados maiores valores de emissões nos modos de manobras e navegação. Para isto, contribuiu o facto de o tempo de atividade destes dois modos ter sido maior para Sines. Para os restantes portos, a quantidade de emissões foi, em todos os modos de operação, diretamente proporcional ao número de entradas.

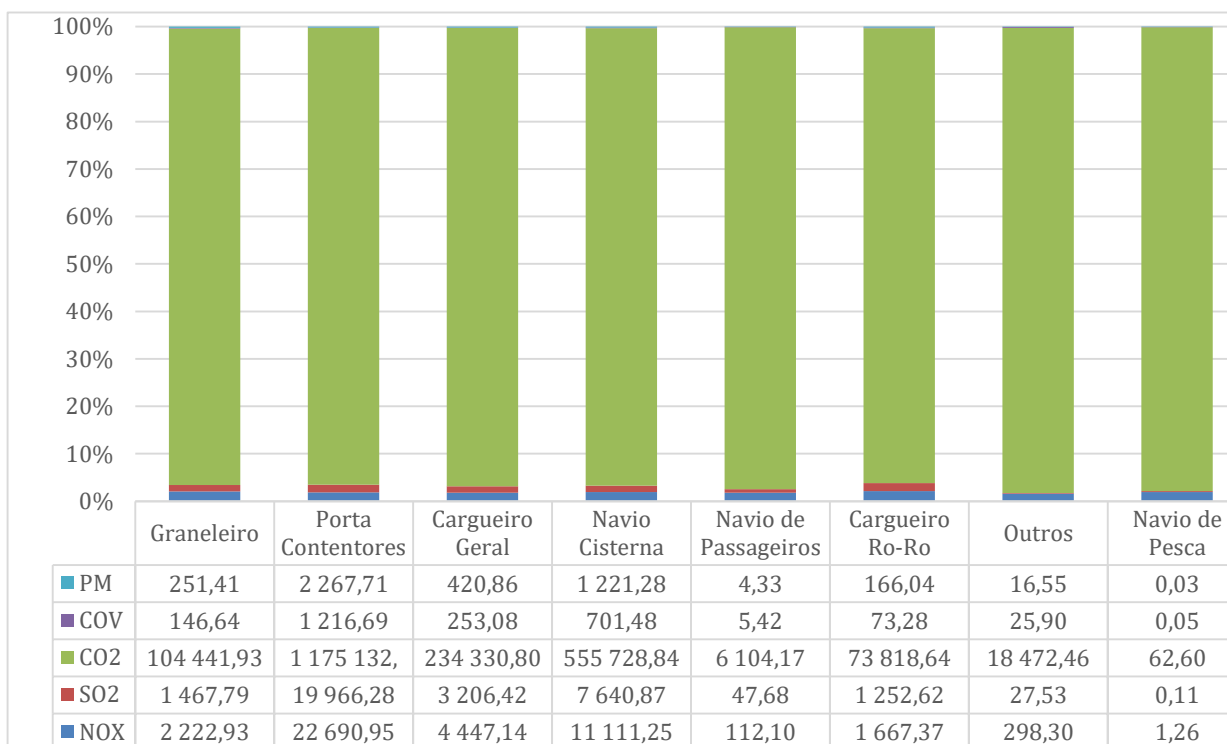
É possível verificar que entre todas as combinações porto/ano, as maiores emissões foram atribuídas ao porto de Sines no ano 2015, tendo contribuído para tal o número de entradas e o tempo de atividade de cada modo de operação. No entanto, como referido anteriormente, foi aplicada aos navios deste porto uma classificação diferente quando comparado com os restantes, o que pode ter enviesado os resultados.

5.3.2 Emissões Calculadas por Categoria de Navio

Nas Figuras 9a) a 9c), é possível analisar a distribuição de poluentes emitidos para cada categoria de navio, para os anos analisados. Por outras palavras, estão discriminadas as percentagens emitidas de cada poluente, relativamente ao total emitido, para cada categoria. De maneira a que fossem analisadas as distribuições de poluentes emitidos com uma maior clareza e distinção, elaboraram-se também gráficos que não contemplassem as emissões de CO₂, que podem ser analisados com especial detalhe nas Figuras 10a) a 10c).

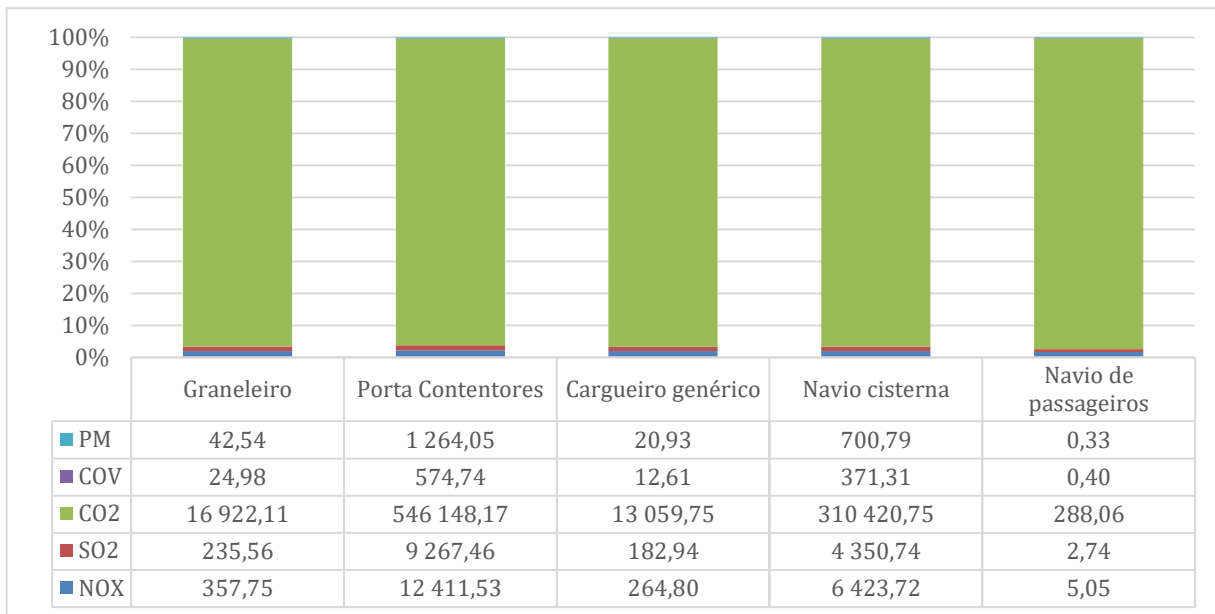


a)



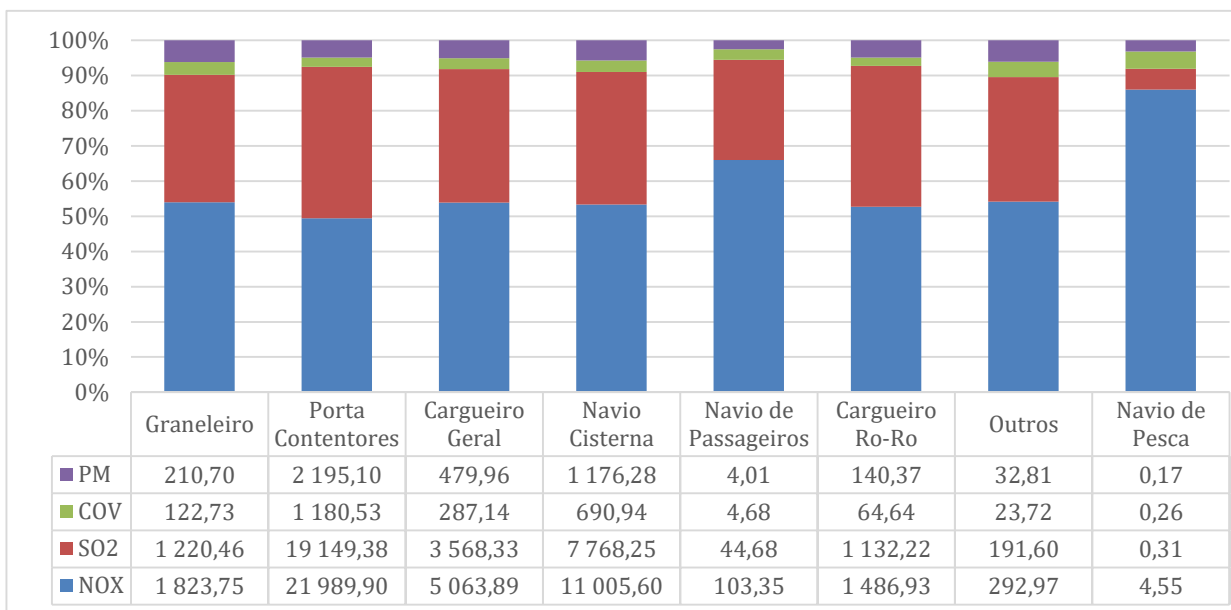
b)

Figura 9 - Emissões de poluentes (toneladas) consoante a categoria dos navios analisados em a) 2013; b) 2014 e c) 2015



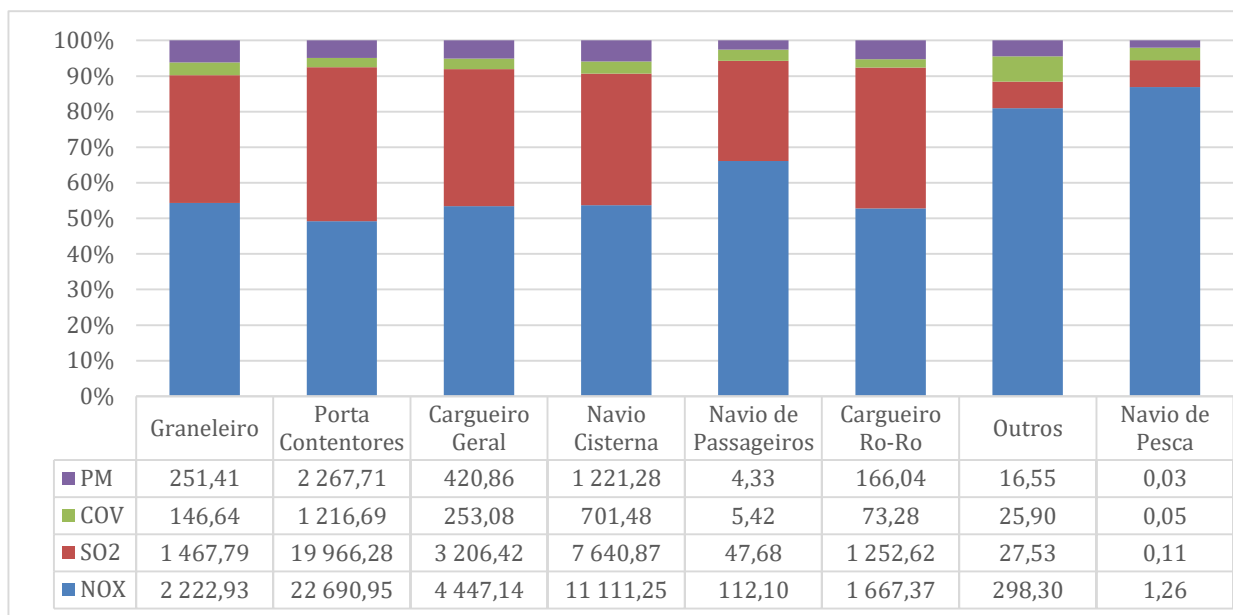
c)

Figura 9 (Continuação) - Emissões de poluentes (toneladas) consoante a categoria dos navios analisados em a) 2013; b) 2014 e c) 2015

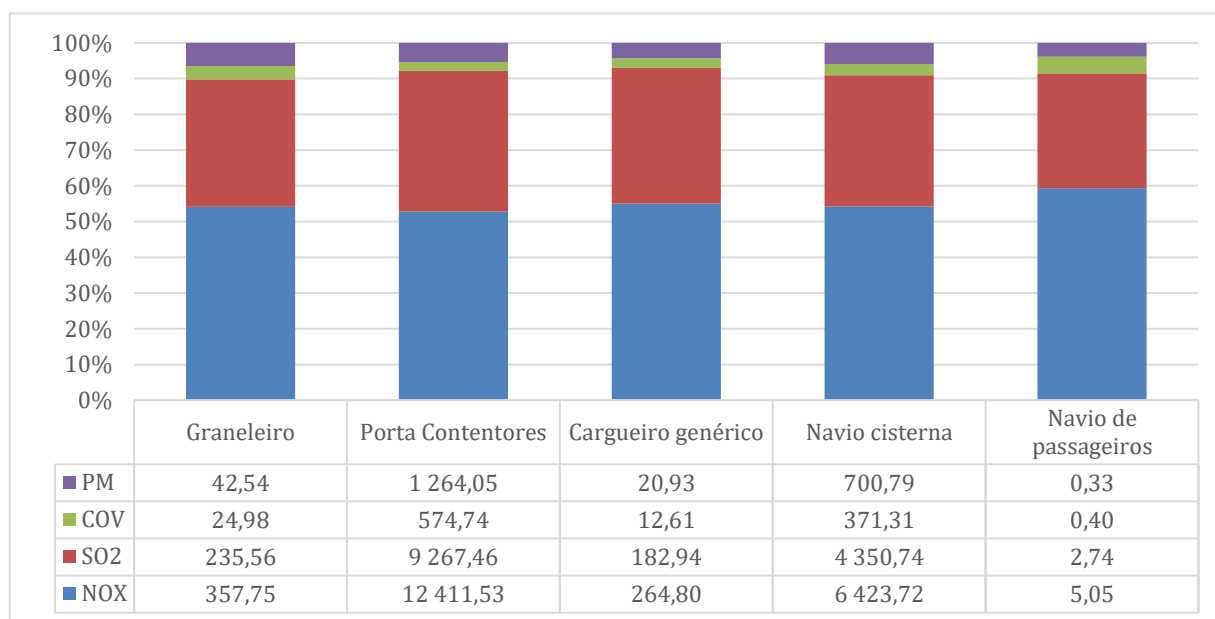


a)

Figura 10 - Emissões de poluentes (toneladas), exceto CO₂, consoante a categoria dos navios analisados em a) 2013; b) 2014 e c) 2015



b)



c)

Figura 10 (Continuação) - Emissões de poluentes (toneladas), exceto CO₂, consoante a categoria dos navios analisados em a) 2013; b) 2014 e c) 2015

Analisando as Figuras 9a) a 9c), é possível verificar que, foram registados, sem exceção para as categorias e portos, valores de emissão de CO₂ muito superiores às dos restantes poluentes, como observado na secção anterior.

De acordo com as Figuras 10a) a 10c) é possível constatar que, de acordo com o que se verificou na secção 5.3.1, a distribuição de poluentes emitidos por todas as categorias de navios

seguiu a mesma ordem: a dominância das emissões de CO₂ foram seguidas pelas emissões de NO_x, SO₂, PM e COV.

Analisando as mesmas Figuras, é possível verificar que, no geral, as categorias que emitiram, dentro do total de poluentes libertado por cada uma, as maiores percentagens de SO₂ foram Porta Contentores e Cargueiros Ro-Ro (não foram registadas entradas de navios desta categoria no porto de Sines, em 2015), uma vez que se associou o consumo de RO a estas categorias, nos MPs e MAs. Constatou-se também que às categorias de Navio de Passageiros, Navio de Pesca e Outros foram associados maiores valores de percentagem de emissões de CO₂ relativa ao total de poluentes emitida por cada categoria. Tal resultado foi obtido porque estas foram as categorias em que se assumiu o consumo de MDO e MGO, em que há um maior rácio entre o FE do CO₂ e o FE dos restantes poluentes, comparativamente com as categorias de navios em que se assumiu o consumo de RO. Por outro lado, a categoria que, nos três anos, emitiu as maiores percentagens de PM, dentro do total emitido, foi Graneleiro, tendo o motivo principal sido o consumo de RO pelos MPs dos navios desta categoria. No que diz respeito às emissões de COV e NO_x, verificou-se que não houve uma tendência geral, nos três anos analisados, relativamente às categorias de navios que, considerando o total de poluentes emitido por cada uma, emitiram as maiores percentagens deste poluente.

Na Tabela 20, é possível analisar as quantidades totais de poluentes emitidas por cada categoria de navio, nos três anos analisados.

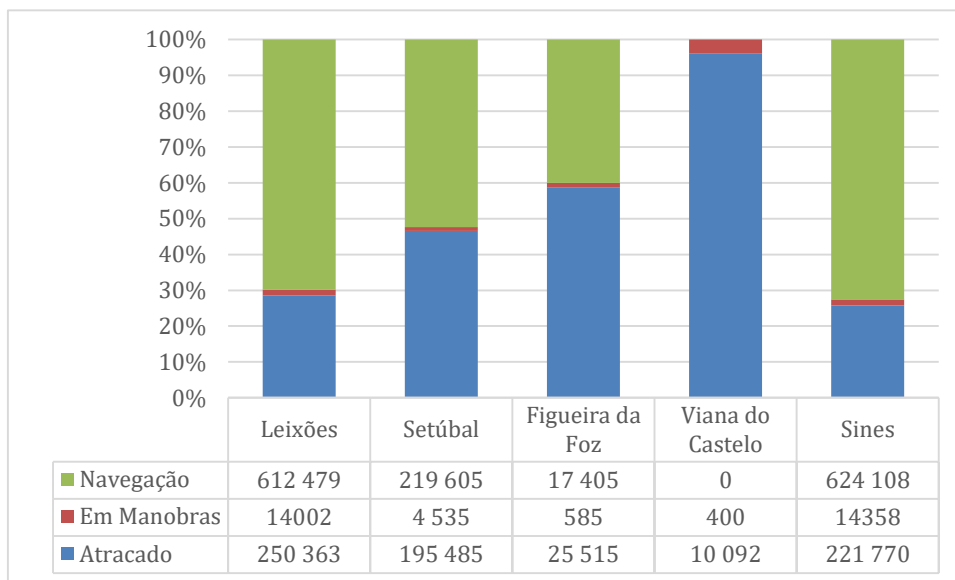
Tabela 20 - Emissões totais de poluentes (toneladas) por categoria de navio

Categoria dos navios	Total emitido (ton)		
	2013	2014	2015
Graneleiro	90 512	108 531	17 583
Porta Contentores	1 171 557	1 221 274	569 666
Cargueiro Geral	271 887	242 658	13 541
Navio Cisterna	582 925	576 404	322 267
Navio de Passageiros	5 727	6 274	297
Cargueiros Ro-Ro	69 623	76 978	
Outros	18 222	18 841	
Navio de Pesca	248	64	

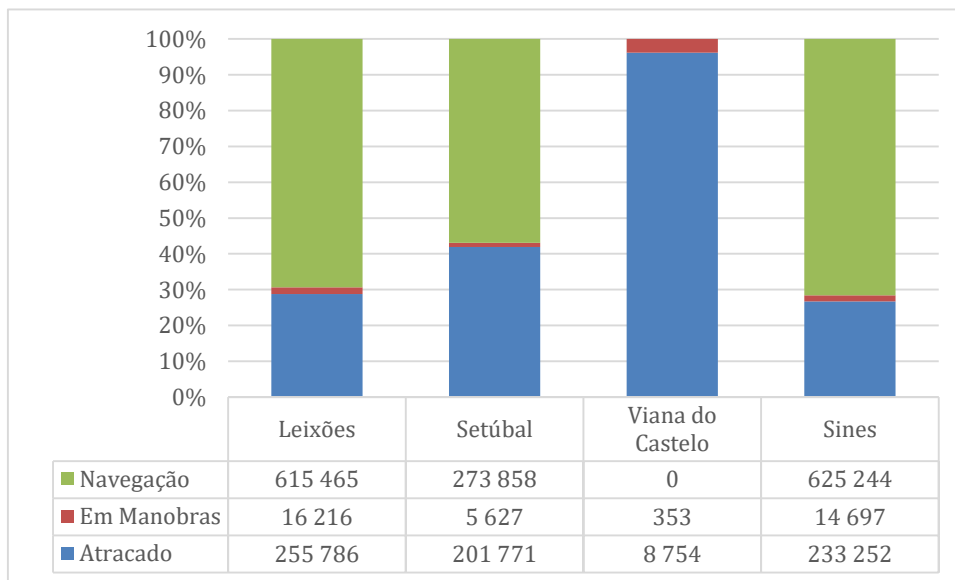
Analisando a Tabela 20, é possível verificar que as maiores quantidades de poluente nos três anos analisados foi emitida por navios Porta Contentores. Para tal, contribuiu principalmente o maior número de entradas de navios pertencentes a esta categoria. Por outro lado, a estes navios foi associado o consumo de RO nos MP e MA ao qual, para todos os poluentes exceto os COV, estão associados os maiores FE.

5.3.3 Emissões Calculadas por Modo de Operação

Nas Figuras 11a) a 11c), é possível analisar a quantidade de poluentes totais emitidos por cada porto, em cada ano, consoante o modo de operação. Adicionalmente, o tempo médio que cada navio passa atracado e em navegação por cada porto, em cada ano, pode ser analisado na Tabela 21.

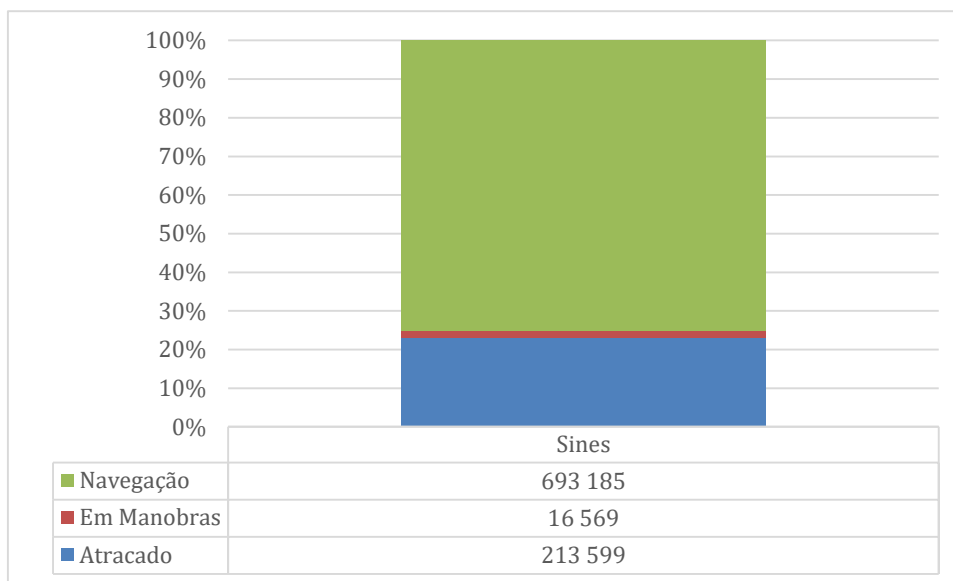


a)



b)

Figura 11 - Emissões de poluentes (toneladas) consoante modo de operação em: a) 2013; b) 2014 e c) 2015



c)

Figura 11 (Continuação) - Emissões de poluentes (toneladas) consoante modo de operação em: a) 2013; b) 2014 e c) 2015

Tabela 21 - Tempos médios dos navios nos modos atracado e navegação (hora), para cada porto, nos anos considerados

Modo de Operação	Ano	Tempo médio passado por cada navio (h)				
		Leixões	Setúbal	Figueira da Foz	Viana do Castelo	Sines
Atracado	2013	44	98	54	53	43
	2014	44	97	-	52	44
	2015	-	-	-	-	38
Em Navegação	2013	36	47	47	-	38
	2014	24	47	-	-	37
	2015	-	-	-	-	37
Em Manobras	todos os anos	1,71	2	0,92	2	2

Analisando as Figuras 11a) a 11c), é possível verificar que, em todos os anos e portos, as emissões de poluentes no modo de Manobras foram consideravelmente menores, comparativamente com os outros dois modos de operação. A justificação para tal é o facto de, como pode ser observado na Tabela 21, o tempo relativo a este modo de operação ser muito reduzido, comparativamente com os tempos nos modos de Navegação e Atracado. Conforme se

pode analisar na Figuras 10a) e 10c), nos portos de Setúbal, Figueira da Foz e Viana do Castelo, a quantidade de poluentes emitida foi diretamente proporcional ao número de entradas, correspondendo a Viana do Castelo as menores quantidades de poluentes emitidos no modo de Manobras. No entanto, esta tendência não se verificou nos portos de Leixões e Sines para o ano 2013, já que, conforme se pode verificar na Tabela 16, o porto de Leixões recebeu mais navios que o porto de Sines e mesmo assim registou uma menor quantidade de poluentes emitidos no modo de Manobras. Tal é explicado pelo facto de, no porto de Leixões ter sido usado um tempo de 1,71h para a quantificação de emissões neste modo, enquanto no porto de Sines foi usado um tempo de 2h. Assim, apesar de o porto de Sines ter registado um menor número de entradas, o maior tempo que cada navio levou neste modo de operação fez com que, na globalidade, fosse atribuído a este porto a maior quantidade de poluentes emitidos neste modo de operação. Já no ano 2014, as maiores quantidades de poluentes emitidos foram atribuídas aos portos com mais entradas, tendo o porto de Leixões sido aquele em que foram registadas maiores emissões, seguido pelo porto de Sines, Setúbal e Viana do Castelo.

É possível verificar que, para os portos de Viana do Castelo e Figueira da Foz, as maiores quantidades de poluentes foram emitidas enquanto os navios se encontravam atracados nos respetivos portos. No caso do porto de Viana do Castelo, a dominância das emissões decorrentes do modo atracado dos navios deve-se ao facto de não terem sido contabilizadas neste porto as emissões relativas à navegação dos navios, já que, como foi referido, a autoridade portuária respetiva não incluiu, nos dados fornecidos, informação respetiva aos portos de origem e chegada para cada entrada de navio. Assim, foi impossível calcular a distância percorrida por cada navio e, conseqüentemente, o tempo que cada um passou em alto mar. No caso do porto da Figueira da Foz, a maior quantidade de poluentes foi emitida quando os navios se encontravam atracados, já que, como se pode verificar na Tabela 16, os navios que deram entrada neste porto passaram, em média, mais 7h Atracados do que em Navegação.

É também possível constatar pela análise das Figuras 10a) a 10c) que nos portos de Leixões, Setúbal e Sines, as maiores quantidades de poluentes foram emitidas no modo de Navegação. Nos portos de Leixões e Sines, as emissões de poluentes neste modo de operação assumiram percentagens correspondentes a mais de metade do total de poluentes emitidos, de 69,9% e 72,6%, respetivamente. Verificou-se que, para os anos 2013 e 2014, o porto de Sines apresentou, maiores quantidades de poluentes emitidos neste modo de operação do que Leixões, apesar de, como pode ser verificado na Tabela 16, apresentar um menor registo de entradas de navios, nos dois anos. A explicação para tal diferença de valores é o facto de, conforme pode ser verificado na Tabela 21, os navios que atracaram em Sines terem passado, em média, mais 2h e 13h em alto mar, em 2013 e 2014, respetivamente. Assim, apesar de ter sido registado um menor número de navios a atracar em Sines, cada um deles passou, em média,

mais tempo em alto mar, fazendo com que, na globalidade, se obtivesse um maior valor de emissões de navios em Navegação para Sines do que para Leixões. Já no caso do porto de Setúbal, o maior tempo que os navios deste porto passaram atracados fez com que a disparidade entre os valores de poluentes emitidos nos modos de navegação e atracado não fosse tão intensa.

5.4 Estimativa de custos das emissões para 2013

Como já referido, foi utilizada uma metodologia baseada num estudo elaborado por Holland e Watkiss (2002), na qual o custo de cada poluente é obtido através do quociente da respetiva massa total emitida pela adição de dois FCE: rural e local. No referido estudo, foram estimados FCE rurais para vários países europeus, incluindo Portugal, fatores esses que foram utilizados na quantificação elaborada nesta dissertação. Assim, estes valores estão discriminados na Tabela 22.

Tabela 22 - Valores dos FCE rurais utilizados (€/ton) (Holland e Watkiss, 2002)

FCE (€/ton)	SO ₂	NO _x	PM _{2,5}	COV
Portugal	3 000	4 100	5 800	1 500

No caso dos FCE locais dos COV e NO_x, assumiram-se os mesmos valores que os FCE rurais, dado que os danos associados a estes dois poluentes estão ligados à formação de poluentes secundários na atmosfera. Como estes poluentes secundários demoram a ser gerados, considerou-se que a quantidade de residentes na cidade em que está inserida o porto é, para estes dois poluentes, irrelevante para a estimativa do FCE local.

No caso das PM_{2,5} e SO₂, os FCE das emissões para cidades com diferentes números de residentes foram calculados através da multiplicação de uma população de 100 000 pessoas pelos fatores descritos na Tabela 23.

Tabela 23 - Valores dos FCE locais utilizados (€/ton) (adaptado de Holland e Watkiss, 2002)

População residente	Fator preliminar	PM _{2,5}	SO ₂
100 000	1	33 000	6 000
500 000	5		
1 milhão	7,5		
Mais que 1 milhão	15		

Inicialmente, foram analisados os Censos de 2011 para determinar a quantidade de pessoas residentes nas cidades em que situam os portos em questão, estando os valores descritos na Tabela 24. Uma vez que a atribuição dos fatores preliminares é linear até 500 000 habitantes, foram utilizadas interpolações para determinar os referidos fatores para as cidades de Matosinhos e Setúbal, sendo atribuído às restantes o valor de 1. Na Tabela 24 estão representados também os FCE locais calculados para o SO₂ e para PM_{2,5}.

Tabela 24 - Valores dos FCE locais utilizados (€/ton) (adaptado de Holland e Watkiss, 2002; Censos 2011, 2011)

Cidade	Habitantes	Fator preliminar	PM _{2,5}	SO ₂	FCE local	
					PM _{2,5}	SO ₂
Matosinhos	175 478	1,75	33 000	6 000	57 750	10 500
Sines	14 238	1			33 000	6 000
Setúbal	121 185	1,21			39 930	7 260
Figueira	62 125	1			33 000	6 000
Viana	88 725	1			33 000	6 000

Na Tabela 25 estão discriminadas as emissões de cada poluente nos modos de manobras e atracado com os valores dos FCE totais. Estes foram obtidos através da adição do FCE rural com o FCE local, para cada poluente em questão. Os custos dos poluentes para cada porto, calculados a partir da Equação 7, podem ser observados na Tabela 26.

Tabela 25 - Emissões de poluentes nos modos atracado e em manobras (toneladas) e representação dos FCE totais (€/ton) para 2013

Portos	Emissões (ton)				FCE total			
	SO ₂	PM _{2,5}	NO _x	COV	SO ₂	PM _{2,5}	NO _x	COV
Leixões	3 757	566	3 996	412	13 500	63 550	8 200	3 000
Sines	3 199	517	3 941	414	9 000	38 800	8 200	3 000
Setúbal	2 563	428	3 294	346	10 260	45 730	8 200	3 000
Figueira da Foz	306	51	391	38	9 000	38 800	8 200	3 000
Viana do Castelo	119	21	164	16	9 000	38 800	8 200	3 000

Tabela 26 - Custo das emissões de cada poluente nos modos atracado e em manobras nos portos analisados e valor do custo total associado a cada porto (em euros) para 2013

	Custo				Custo total (€)
	SO ₂	PM _{2,5}	NO _x	COV	Total
Leixões	50 724 476	35 969 300	32 768 928	1 234 505	119 464 443
Sines	28 792 426	20 060 474	32 315 900	1 241 665	82 410 465
Setúbal	26 299 291	19 587 948	27 010 020	1 037 591	73 934 849
Figueira da Foz	2 757 117	1 975 309	3 210 193	113 946	8 056 566
Viana do Castelo	1 067 610	809 533	1 347 929	48 040	3 273 111

Analisando a Tabela 26, constata-se que o maior custo de emissões foi atribuído ao porto de Leixões, seguido pelo porto de Sines. Tal como as quantidades das emissões, os custos destas foram associados aos portos com maiores registos de entradas. No caso do porto de Viana do Castelo, devido às menores quantidade de emissões calculadas, foi atribuído o menor custo.

É possível constatar que os custos associados aos COV foram os mais reduzidos em todos os portos, dada a menor quantidade de emissão destes poluentes, bem como o menor FCE total atribuído.

A superioridade dos custos associados às emissões de SO₂ e PM_{2,5} no porto de Leixões tem como explicação o facto de se ter considerado a população de todo o concelho de Matosinhos para a atribuição dos FCE locais, já que a quantidade de residentes exclusivamente na região de Leixões não foi encontrada, depois de alguma pesquisa. Nos restantes portos, verifica-se que houve um maior custo associado aos NO_x, SO₂, PM e, como já referido, aos COV. Assim, para o porto de Leixões, os valores dos FCE atribuídos revelaram-se mais influentes na quantificação dos custos associados às emissões do que nos restantes portos.

No entanto, deve ser tido em consideração que estes custos são estimados com base na situação económica de Portugal no ano 2000. Um uso de FCEs que contemplem a realidade económica atual no país forneceria uma aproximação mais realista do real custo associado às emissões.

5.5 Comparação com outros estudos

Como se referiu previamente, foram apenas elaborados dois estudos que quantificassem as emissões de navios em Portugal, que foram elaborados pela APA (2015b) e pela CCDRN (2009).

Enquanto o estudo da APA (2015b) analisou as emissões de navios em navegações entre portos portugueses no período 1990-2013, o estudo CCRDN aplicou-se apenas ao ano 2008, tendo sido estimadas as emissões de navios para o porto de Leixões. A parte do estudo da APA (2015b) que quantificou as emissões de navios focou-se apenas nas emissões de GEE, mais especificamente de CO₂, N₂O e CH₄. No entanto, estimou as quantidades totais de CO₂, SO₂ e NO_x produzidas em Portugal no ano 2013. Já o estudo da CCRDN considerou as emissões de CO₂, NO_x, SO₂, PM₁₀, PM_{2,5} e COV, produzidas por navios.

Enquanto o estudo da APA (2015b) se focou apenas nas emissões dos navios em modo de navegação entre portos portugueses, o da CCRDN (2009) focou-se na emissão de poluentes quando os navios se encontravam nos portos, independentemente do destino.

Relativamente ao estudo efetuado pela CCRDN (2009), foram tidos em conta três modos de operação: i) em manobras de entrada/saída; ii) atracados; e iii) operações de carga e descarga para navios cisterna. Assim, este estudo considerou, para a quantificação das emissões uma metodologia utilizada noutro estudo (Trozzi et al. 1995), dependente dos seguintes parâmetros: i) operações de carga e descarga; ii) quantidade de produto carregado e descarregado, por navios cisterna; iii) tempo médio de operação; e iv) consumo de combustível, em função da GT.

Neste estudo, foi assumido um tempo de manobras de 24 minutos para todos os navios. Por outro lado, os tempos que os navios passaram atracados foram retirados de um estudo efetuado por Baldasano et al. (2008), não correspondendo ao tempo que, efetivamente cada navio passou atracado. Os FE usados neste estudo são retirados de outro, tendo sido estimados considerando que a velocidade de um navio está compreendida entre 18,52 e 37,04 km/h e o consumo de combustível é estimado em função da GT, para cada categoria de navio analisada.

Apesar de quantificar os poluentes mais importantes que são causados pelo transporte marítimo, este estudo utiliza bastantes parâmetros provenientes de outros estudos. Os tempos de manobra e atracado, parâmetros importantes para quantificação das emissões, são um exemplo disso. Por outro lado, a atribuição de consumo de combustível tendo em conta apenas a GT e a categoria de um navio promove grandes desvios da realidade, já que devem ser tidas em conta mais variáveis para ilustrar com rigor a atividade de um navio. Por outro lado, este estudo não contabilizou as emissões decorrentes da navegação dos navios.

Para o estudo da APA, no qual foram estimadas as emissões de CO₂ por navios que navegassem entre portos portugueses no ano 2013, já é possível efetuar uma comparação de resultados relativamente a este poluente.

Neste estudo, a quantidade de CO₂ total emitida no ano 2013 pelos navios que navegaram entre os portos analisados foi de 247 000 ton. No entanto, apesar de o estudo da APA (2015b)

ter considerado 13 portos portugueses, nesta dissertação, as quantidades de CO₂, após terem sido analisadas apenas as entradas de navios entre portos portugueses, foi de 1 394 808 ton.

No estudo efetuado pela APA, as emissões de CO₂ são calculadas a partir do consumo de combustível de cada navio, considerando apenas dois FE (que dependem do combustível utilizado pelo navio). O consumo de combustível para cada categoria de navio analisada é calculado como sendo uma função da GT do navio e tendo em consideração o tempo de viagem. Assim, utilizado uma aproximação *Top-Down*, é assumido o mesmo consumo de combustível para navios da mesma categoria e mesma GT, sendo ignorados parâmetros chave, tais como a FC, e potência dos seus motores.

Por outro lado, o FE utilizado para o CO₂ no estudo da APA (2015b) é cerca de 43% inferior ao que é utilizado nesta dissertação. Assim, o estudo da APA (2015b) considera que há uma menor emissão de CO₂ por cada unidade de combustível consumido, comparativamente com o que foi considerado nesta dissertação.

Neste estudo da APA (2015b), foram quantificadas, a nível nacional, as emissões de CO₂, SO₂ e NO_x provenientes de todos os setores, no ano 2013. De maneira a verificar que acréscimo sofreriam estes valores se o estudo da APA (2015b) tivesse considerado as quantidades destes poluentes estimadas nesta dissertação, elaborou-se a Tabela 27.

Tabela 27 - Influência que os valores das estimativas de CO₂, SO₂ e NO_x efetuada na presente dissertação teriam se tivessem sido consideradas no estudo efetuado pela APA (2015b)

Poluente	Emissões provenientes de todos os setores, exceto setor marítimo (ton) (APA 2015b)	Emissões provenientes de navios, nos portos analisados na presente dissertação (ton)	Acréscimo da quantidade de poluente se a estimativa desta dissertação tivesse sido considerada pela APA
CO ₂	47 161 000	2 129 241	4,3%
SO ₂	53 000	33 075	38,4%
NO _x	167 000	41 770	20,0%

De acordo com a Tabela 27, se as emissões de CO₂, SO₂ e NO_x que resultaram da quantificação efetuada nesta dissertação fossem consideradas pelo estudo efetuado pela APA, a quantidade total dos mesmos poluentes emitidos em todos os setores no ano 2013 aumentaria, respetivamente 4,3%, 38,4% e 20%. Estas percentagens poderiam ser ainda maiores se tivessem sido analisados todos os portos de Portugal, em vez de cinco. Principalmente nas emissões de NO_x e SO₂ são verificadas diferenças significativas, portanto, uma contabilização das emissões provenientes do setor marítimo deve ser feita nos próximos estudos relacionados com a

quantificação das emissões totais de um país, dado que promovem alterações consideráveis nos valores obtidos se não forem consideradas.

6 Conclusões e recomendações futuras

Com esta dissertação, foi efetuada uma estimativa das emissões dos navios que atracaram em cinco portos portugueses, recorrendo a uma metodologia elaborada pela Entec UK Limited. Para um país com uma extensa costa e ligado ao transporte marítimo, este tema ainda se encontra numa fase muito prematura em Portugal, tendo apenas a APA (2015b) e a CCDRN (2009) efetuado este tipo de análise. Foram então estimadas, neste estudo, as emissões de CO₂, NO_x, SO₂, COV e PM.

Segundo os resultados obtidos, constatou-se que o porto que recebeu, nos anos 2013 e 2014, mais entradas de navios foi o de Leixões, seguido pelo de Sines, Setúbal, Figueira da Foz e Viana do Castelo e que as categorias mais frequentes, nos três anos analisados foram os Porta Contentores, Cargueiros Gerais e Navios Cisterna.

Estimou-se que em todos os portos, foram emitidos menos poluentes no modo de manobras, uma vez que o tempo de operação considerado para este modo de operação foi muito menor que os tempos de operação dos modos atracados e de navegação.

Os navios que atracaram nos portos de Leixões, Sines e Setúbal emitiram maior quantidade de poluentes no modo de navegação, dado terem passado, em média, mais tempo em alto-mar do que atracados. Apesar disto, foi no porto de Setúbal, em 2013 e 2014, que os navios passaram, em média, mais tempo atracados, de todos os portos analisados. Relativamente aos navios que atracaram no porto de Viana do Castelo, uma vez que não foram consideradas as emissões em modo de navegação por falta de dados, as maiores quantidades de emissões foram libertadas enquanto os navios estiveram atracados. Já no porto da Figueira da Foz, os navios passaram, em média, mais tempo atracados do que em alto mar, o que fez com que fossem registadas maiores quantidades de poluentes libertados quando os navios estiveram atracados.

Os resultados indicaram também que o poluente libertado em maior quantidade foi, como esperado, o CO₂, cujas emissões corresponderam, em todos os portos, a mais de 95% do total de emissões. A seguir, os poluentes libertados em maior quantidade foram o NO_x, SO₂, PM e COV, respetivamente. A estes dois últimos foram atribuídos percentagens médias de, respetivamente, 0,2% e 0,1% do total de poluentes emitidos.

No que diz respeito à distribuição percentual de cada poluente por categoria de navio, analisou-se que as maiores percentagens de SO₂ foram associadas a navios pertencentes à categoria de Porta Contentores (em 2013, 2014 e 2015) e Cargueiros Ro-Ro (2013 e 2014), uma vez que se associou o consumo de RO a estas categorias, nos MPs e MAs. No caso do CO₂, verificou-se que as maiores percentagens relativas ao total da categoria foram emitidas por Navios Cruzeiros, Navios de Pesca e Outros. A justificação é o facto de os navios destas

categorias consumirem MGO e MDO, em que há um maior rácio entre o FE do CO₂ e o FE dos restantes poluentes, comparativamente com os navios que usam RO. Verificou-se também que a maior percentagem de PM, relativa ao total de emissões de cada categoria, foi associada aos navios Graneleiros, dado o consumo de RO nos MP. Não se verificaram tendências gerais de categorias de navios que emitissem maiores percentagens relativas de NO_x e COV, nos três anos analisados.

Devido ao maior número de entradas e ao consumo de RO nos MP e MA, os Porta Contentores foram a categoria de navios que registou um maior valor de emissão de poluentes.

Relativamente às quantidades totais de poluentes emitidos foram, para o ano 2013: i) 876 845 toneladas, para o porto de Leixões; ii) 419 623 toneladas, para o porto de Setúbal; iii) 10 493 toneladas, para o porto de Viana do Castelo; iv) 43 503 toneladas, para o porto da Figueira da Foz; e v) 860 236 toneladas, para o porto de Sines. Relativamente ao ano 2014, foram emitidas: i) 890 245 toneladas, para o porto de Leixões; ii) 482 957 toneladas, para o porto de Setúbal; iii) 9 145 toneladas, para o porto de Viana do Castelo; e iv) 873 194 toneladas, para o porto de Sines. Este porto emitiu 923 354 toneladas de poluentes, no ano de 2015.

Utilizando uma metodologia retirada de um estudo elaborado por Holland e Watkiss (2002), quantificaram-se os custos associados aos danos provocados, em terra, pelas emissões de SO₂, NO_x, PM_{2,5} e COV pelos navios quando estes se encontravam em manobras e atracados nos portos analisados, no ano 2013. Os totais obtidos foram de: i) 119 464 443 €, no porto de Leixões; ii) 82 410 465 €, no porto de Sines; iii) 73 934 849 €, no porto de Setúbal; iv) 8 056 566 €, no porto da Figueira da Foz; e v) 3 273 111 €, no porto de Viana do Castelo.

Foi constatado que, para todos os portos exceto Leixões, a quantidade de poluentes emitida foi mais preponderante para o custo de cada poluente do que o FCE respetivo, tendo sido os maiores custos de danos atribuídos às emissões de NO_x, SO₂, PM_{2,5} e COV.

No caso do porto de Leixões, por se ter considerado a população do concelho de Matosinhos para a atribuição do FCE local, obtiveram-se valores superiores de FCE relativos ao SO₂ e PM_{2,5}, resultando em valores de custo de danos muito maiores atribuídos a estes dois poluentes.

Concluiu-se também que, se no estudo de quantificação de GEE elaborado pela APA (2015b) tivessem sido contabilizados os totais de CO₂, NO_x e SO₂ obtidos neste estudo, as emissões totais de cada poluente, a nível nacional, teriam tido acréscimos de, respetivamente, 4,3%, 20,0% e 38,4%.

Os pontos fracos da metodologia utilizada na quantificação de emissões baseiam-se, essencialmente, na assunção de diversos parâmetros consoante a categoria de cada navio, consumo de cada tipo de combustível. Por outro lado, as distâncias calculadas entre portos

foram calculadas como o somatório das distâncias em linha reta entre pontos de cada rota, o que não corresponde na totalidade à realidade.

No futuro, para eliminar estas incertezas, seria interessante utilizar programas que, baseados no AIS implementado nos navios, estimassem com maior precisão as emissões destes. Por um lado, a utilização de um sistema no qual está inserida uma vasta base de dados relativamente a navios promove resultados mais coerentes entre diversos estudos. Por outro lado, grande parte das assunções consideradas em grande parte dos estudos existentes relativamente a, por exemplo, FE, potência utilizada pelos motores deixariam de ser utilizadas, visto que existem atualmente programas que, recebendo dados AIS, conseguem registar estes parâmetros em diferentes intervalos de tempo, o que promove uma maior aproximação da realidade do que estimar o mesmo valor de cada parâmetro durante toda uma viagem. Adicionalmente, a utilização de um programa assim permitiria a alocação das emissões, possibilitando a elaboração de *Heat Maps* para cada poluente, de maneira a identificar as zonas em que existe maior libertação. No entanto, a utilização desta informação é bastante dispendiosa, comparativamente com a metodologia usada na maioria dos estudos.

No caso de não se poder utilizar o sistema AIS para quantificar as emissões, as informações deverão ser requisitadas às autoridades portuárias, apelando à inclusão de todas as variáveis necessárias para a metodologia em causa. Desta forma, poderão ser ultrapassados alguns obstáculos que existiram na elaboração da quantificação de emissões efetuada nesta dissertação, isto é, a falta de informação de portos de origem e destino, no caso de Viana do Castelo e a falta de informação relativa à classificação/identificação dos navios, no caso do Porto de Sines.

No que diz respeito à quantificação dos custos dos danos provocados pelas emissões, a mesma seria mais exata se fossem utilizados FCE adaptados à realidade económica de Portugal na atualidade, de maneira a que refletissem, com mais rigor, os danos económicos que as emissões provenientes do transporte marítimo causam em território nacional.

Referências Bibliográficas

- A.P. Moller (2013) Maersk Group's Sustainability Report 2012 - Growing for Growth. 85. doi: 10.4244/EIJV10I1A1
- AirClim, Seas At Risk, Bellona Foundation, et al (2010) Air pollution from ships.
- Angotti M, Bispo ON de A, Moreira R de L (2012) Impacto Da Internalização Dos Custos Ambientais Decorrentes Da Emissão De Gases Do Efeito Estufa No Resultado. Rev del Inst Int Costos 10:5-24.
- APA (2015a) PORTUGUESE NATIONAL INVENTORY REPORT ON GREENHOUSE GASES, 1990 - 2004 Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- APA (2015b) Relatórios do Estado do Ambiente (REA).
- APDL (2015a) Terminal de Cruzeiros. <http://www.apdl.pt/terminal-passageiros-sul>.
- APDL (2015b) Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões.
- APP (2016a) Portos do Douro e Leixões. <http://www.portosdeportugal.pt/web/app/douro-e-leixoes>.
- APP (2016b) Porto de Setúbal. <http://www.portosdeportugal.pt/web/app/setubal>.
- APP (2016c) Porto da Figueira da Foz. <http://www.portosdeportugal.pt/web/app/figueira-da-foz>.
- APP (2016d) Porto de Viana do Castelo.
- APP (2016e) Porto de Sines. <http://www.portosdeportugal.pt/web/app/sines>.
- APS (2016) Porto de Sines. <http://www.apsinesalgarve.pt/portos/porto-de-sines/>.
- Bake MA, Vanadzins I (2011) IMPACT OF AIR QUALITY ON HUMAN HEALTH Based on data of air quality in the Freeport of Riga 2008-2010. BSR Innosh 1-37.
- Baptista LF (2007) Marpol - Anexo VI Controlo de emissões poluentes.
- Boersma KF, Vinken GCM, Tournadre J (2015) Ships going slow in reducing their NOx emissions: changes in 2005-2012 ship exhaust inferred from satellite measurements over Europe. Environ Res Lett 10:074007. doi: 10.1088/1748-9326/10/7/074007
- Botelho N (2015) O maior porta-contentores do mundo chegou a Sines.
- Browning L, Bailey K (2006) Current Methodologies and Best Practices for Preparing Port Emission Inventories. 15th Annu Int Emiss Invent Conf - "Reinventing Invent - New Ideas New Orleans" 1-20.

- Buhaug Ø, Corbett J., Endresen Ø, Eyring V (2009) Second IMO GHG Study2009. IMO 240. doi: 10.1163/187529988X00184
- Cakmak S, Dales RE, Liu L, et al (2014) Residential exposure to volatile organic compounds and lung function: Results from a population-based cross-sectional survey. *Environ Pollut* 194:145-151. doi: 10.1016/j.envpol.2014.07.020
- CCDRLVT (2014) <http://www.ccdr-lvt.pt/pt/o-ar-e-os-poluente-atmosfericos/8082.htm>.
<http://www.ccdr-lvt.pt/pt/o-ar-e-os-poluente-atmosfericos/8082.htm>.
- CCDRN (2009) MELHORIA DO ACTUAL INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS DA REGIÃO NORTE - Relatório Final.
- Cerqueira JMT (2008) O porto de Leixões no contexto europeu e nacional: posicionamento face ao porto de Lisboa. 150.
- Chatzinikolaou SD, Oikonomou SD, Ventikos NP (2015) Health externalities of ship air pollution at port - Piraeus port case study. *Transp Res Part D Transp Environ* 40:155-165. doi: 10.1016/j.trd.2015.08.010
- Coello J, Williams I, A. Hudson D, Simon K (2015) An AIS-based approach to calculate atmospheric emissions from the UK fishing fleet. *Atmos Environ* 114:1-7. doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.05.011
- Cooper DA, Gustafsson T, Agency SEP (2004) Methodology for calculating emissions from ships: 2. Emission factors for 2004 reporting. 1-11.
- Corbett JJ, Fischbeck PS, Pandis SN (1999) Global nitrogen and sulfur inventories for oceangoing ships. *J Geophys Res* 104:3457-3470. doi: 10.1029/1998JD100040
- Corbett JJ, Winebrake JJ (2008) Emissions Tradeoffs among Alternative Marine Fuels: Total Fuel Cycle Analysis of Residual Oil, Marine Gas Oil, and Marine Diesel Oil. *J Air Waste Manage Assoc* 58:538-542. doi: 10.3155/1047-3289.58.4.538
- Corbett JJ, Winebrake JJ, Green EH, et al (2007) Mortality from ship emissions: A global assessment. *Environ Sci Technol* 41:8512-8518. doi: 10.1021/es071686z
- Dalsøren SB, Eide MS, Endresen Ø, et al (2009) Update on emissions and environmental impacts from the international fleet of ships: the contribution from major ship types and ports. *Atmos Chem Phys* 9:2171-2194. doi: 10.5194/acp-9-2171-2009
- Dataloy Systems (2016) About Dataloy Distance Table. <http://www.dataloy.com/about.jsp>.
- De Meyer P, Maes F, Volckaert A (2008) Emissions from international shipping in the Belgian part of the North Sea and the Belgian seaports. *Atmos Environ* 42:196-206. doi: 10.1016/j.atmosenv.2007.06.059

- Denisis A (2009) An economic feasibility study of short sea shipping including the estimation of externalities with Fuzzy Logic.
- Deniz C, Kilic A (2010) Estimation and Assessment of shipping emissions in the region of Ambarli Port, Turkey. *Environ Prog Sustain Energy* 29:107-115. doi: 10.1002/ep
- Deniz C, Kilic A, Clvkaroglu G (2010) Estimation of shipping emissions in Candarli Gulf, Turkey. *Environ Monit Assess* 171:219-228. doi: 10.1007/s10661-009-1273-2
- Der Noske Veritas (2014) LNG as ship fuel: The future - today. 1-60.
- Det Norske Veritas (2012) Shipping 2020. 68.
- Det Norske Veritas (2010) Greener Shipping in the Baltic Sea.
- Dragović B, Tzannatos E, Tselentis V, et al (2015) Ship emissions and their externalities in cruise ports. *Transp Res Part D Transp Environ.* doi: 10.1016/j.trd.2015.11.007
- Drewry (2015) Shipping is cutting CO2 emissions. 44:7538.
- ECASBA (2012) ECASBA Position Paper on Sulphur Emissions from Ships. 0-1.
- Endresen Ø, Bakke J, Sørgård E, et al (2005) Improved modelling of ship SO2 emissions - A fuel-based approach. *Atmos Environ* 39:3621-3628. doi: 10.1016/j.atmosenv.2005.02.041
- Entec (2010) Defra UK Ship Emissions Inventory. 1-268.
- Entec UK Limited (2005) European Commission Directorate General Environment Service Contract on Ship Emissions: Assignment, Abatement and Market-based Instruments.
- Eyring V, Isaksen ISA, Berntsen T, et al (2010) Transport impacts on atmosphere and climate: Metrics. *Atmos Environ* 44:4648-4677. doi: 10.1016/j.atmosenv.2009.04.044
- Festraets T, Macharis C, Meyer S (1999) AVIATION AND THE BELGIAN CLIMATE POLICY: INTEGRATION OPTIONS AND IMPACTS 1 .
- Goldsworthy L, Goldsworthy B (2015) Modelling of ship engine exhaust emissions in ports and extensive coastal waters based on terrestrial AIS data - An Australian case study. *Environ Model Softw* 63:45-60. doi: 10.1016/j.envsoft.2014.09.009
- GSOF (Green Ship Of The Future) (2015) Oxide of Nitrogen. <http://www.greenship.org/omos/emissions/oxygenofnitrogen/>.
- Guent MBV (2012) Everything You Need to Know About Marine Fuels.
- Hayman B, Dogliani M, Kvale I, Magerholm Fet A (2000) Technologies for reduced environmental impact from ships - Ship building , maintenance and dismantling aspects. *ENSUS 2000 Mar Sci Technol Environ Sustain Dep Mar Technol Sci Coast Manag* 1:2 - 12.

- Helfre J-F, Boot PAC (2013) Emission Reduction in the Shipping Industry: Regulations, Exposure and Solutions. *Sustainalytics* 37.
- Holland M, Pye S, Watkiss P, et al (2005) Damages per tonne emission of PM_{2.5}, NH₃, SO₂, NO_x and VOCs from each EU25 Member State (excluding Cyprus) and surrounding seas. 26.
- Holland M, Watkiss P (2002) Benefits Table database: Estimates of the marginal external costs of air pollution in Europe. *BeTa Version E 20*. doi: 10.1046/j.1466-7657.46.no.5issue347.5.x
- Hong Kong Policy Address (2013) Vessel Emission Reduction.
- Howitt OJA, Revol VGN, Smith IJ, Rodger CJ (2010) Carbon emissions from international cruise ship passengers' travel to and from New Zealand. *Energy Policy* 38:2552-2560. doi: 10.1016/j.enpol.2009.12.050
- Hulskotte JHJ, Denier van der Gon HAC (2010) Fuel consumption and associated emissions from seagoing ships at berth derived from an on-board survey. *Atmos Environ* 44:1229-1236. doi: 10.1016/j.atmosenv.2009.10.018
- ICCT (2007) Air Pollution and Greenhouse Gas Emissions from Ships : Impacts, Mitigation Options and Opportunities for Managing Growth.
- ICF (2009) Current Methodologies and Best Practices for Preparing Ocean Going Vessel Emission Inventories Used in Preparing the U.S. ECA Proposal for U.S.EPA.
- ICS (2014) Shipping, World Trade and the Reduction of CO₂.
- ICS (2015) Shipping and World Trade. <http://www.ics-shipping.org/shipping-facts/shipping-and-world-trade>.
- IMO (2014) Third IMO Greenhouse Gas Study 2014 - Executive Summary. 1-26.
- IMO (2016a) About IMO. <http://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx>.
- IMO (2016b) International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL). [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).
- IMO (2016c) Prevention of Air Pollution from Ships. <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Air-Pollution.aspx>.
- Jalkanen JP, Brink A, Kalli J, et al (2009) A modelling system for the exhaust emissions of marine traffic and its application in the Baltic Sea area. *Atmos Chem Phys Discuss* 9:15339-15373. doi: 10.5194/acpd-9-15339-2009

- Jalkanen JP, Johansson L, Kukkonen J (2014) A comprehensive inventory of the ship traffic exhaust emissions in the Baltic Sea from 2006 to 2009. *Ambio* 43:311-324. doi: 10.1007/s13280-013-0389-3
- Jalkanen JP, Johansson L, Kukkonen J (2013) A comprehensive inventory of the ship traffic exhaust emissions in the Baltic Sea from 2006 to 2009. *Ambio* 43:311-324. doi: 10.1007/s13280-013-0389-3
- Jiang L, Kronbak J, Christensen LP External costs of maritime shipping: A voyage-based methodology. 1-18.
- Kilic A, Tzannatos E (2014) Ship emissions and their externalities at the container terminal of Piraeus, Greece. *Int J Environ Res* 8:1329-1340. doi: 10.1016/j.atmosenv.2009.10.024
- Korzhenevych A, Dehnen N, Bröcker J, et al (2014) Update of the Handbook on External Costs of Transport. Final Rep 139. doi: Ref: ED 57769 - Issue Number 1
- Li Q, Jacob DJ, Bey I, et al (2002) Transatlantic transport of pollution and its effects on surface ozone in Europe and North America. *J Geophys Res* 107:4166. doi: 10.1029/2001JD001422
- Lloyd's Loading List (2013) Owners denied state aid for SOx compliance. <https://www.lloydslist.com/ll/sector/ship-operations/article419015.ece>.
- LNG for Shipping (2016) LNG for Shipping. <https://lngforshipping.eu/about-lng>.
- Luciulli P, Ugolini P, Pollini E (2007) Harbour of Ravenna: The contribution of harbour traffic to air quality. *Atmos Environ* 41:6421-6431. doi: 10.1016/j.atmosenv.2007.05.003
- MAN (2011) Humid Air Motor - Technology for green profits.
- Marine Traffic (2015) Marine Traffic - About. <http://www.marinetraffic.org/marine-traffic/>.
- Miola A, Ciuffo B (2011) Estimating air emissions from ships: Meta-analysis of modelling approaches and available data sources. *Atmos Environ* 45:2242-2251. doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.01.046
- Moreno-Gutiérrez J, Calderay F, Saborido N, et al (2015) Methodologies for estimating shipping emissions and energy consumption: A comparative analysis of current methods. *Energy* 86:603-616. doi: 10.1016/j.energy.2015.04.083
- National Geographic (2016) Effects of Global Warming. <http://environment.nationalgeographic.com/environment/global-warming/gw-effects/>.
- Ng SKW, Loh C, Lin C, et al (2013) Policy change driven by an AIS-assisted marine emission inventory in Hong Kong and the Pearl River Delta. *Atmos Environ* 76:102-112. doi: 10.1016/j.atmosenv.2012.07.070

- Pinto A (2013) Desenvolvimento de um método para o cálculo das emissões atmosféricas por navios em Portugal.
- Porto da Figueira da Foz (2015) Porto da Figueira da Foz: Zonas Portuárias. <http://www.portofigueiradafoz.pt/menu/index.php?x=143>.
- Porto de Viana do Castelo (2015) Porto De Viana Do Castelo.
- Psaraftis HN, Kontovas C. (2009) CO2 Emissions Statistics for the World Commercial Fleet1. *WMU J Marit Aff* 8:1-25.
- Rudd HJ, Hill NA (2001) Measures to Reduce Emissions of VOCs during Loading and Unloading of Ships in the EU.
- Saraçoğlu H, Deniz C, Kiliç A (2013) An investigation on the effects of ship sourced emissions in Izmir port, Turkey. *Sci World J*. doi: 10.1155/2013/218324
- Sardinha A (2013a) Poluição e o Transporte Marítimo.
- Sardinha A (2013b) Dimensões de navios.
- SCG (2014) Port Of Long Beach Air Emissions Inventory -2013.
- SCG (2010) Port Of Long Beach Air Emission Inventory - 2009. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
- SCG (2007) Port Of Long Beach Air Emission Inventory - 2005.
- Schrooten L, De Vlieger I, Int Panis L, et al (2008) Inventory and forecasting of maritime emissions in the Belgian sea territory, an activity-based emission model. *Atmos Environ* 42:667-676. doi: 10.1016/j.atmosenv.2007.09.071
- Sharma DC (2006) Ports in a storm.
- Silva LM (2013) Quando o mercado não permite atingir a eficiência económica: falhas de mercado - as externalidades.
- Silva NM (2015) Porto de Setúbal expande terminal.
- Silva NM (2016) Porto de Sines reforça posição no “top 20” europeu de contentores.
- Song S (2013) Ship emissions inventory, social cost and eco-efficiency in Shanghai Yangshan port. *Atmos Environ* 82:288-297. doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.10.006
- Tamaddoni M, Sotudeh-Gharebagh R, Nario S, et al (2013) Experimental study of the VOC emitted from crude oil tankers. *Process Saf Environ Prot* 92:929-937. doi: 10.1016/j.psep.2013.10.005
- Tichavska M, Tovar B (2015) Port-city exhaust emission model: An application to cruise and

- ferry operations in Las Palmas Port. *Transp Res Part A Policy Pract* 78:347-360. doi: 10.1016/j.tra.2015.05.021
- Trozzi C, Vaccaro R, Nicolo L (1995) Air pollutants emissions estimate from maritime traffic in the italian harbours of Venice and Piombino. *Sci Total Environ* 169:257-263. doi: 10.1016/0048-9697(95)04656-L
- Tzannatos E (2009) Ship emissions and their externalities for Greece. *Atmos Environ* 44:2194-2202. doi: 10.1016/j.atmosenv.2010.03.018
- UNCTAD (2015) Review of Maritime Transport 2015.
- USEPA (1999) Nitrogen Oxides (NOx), Why and How They Are Controlled.
- USEPA (2016a) Effects of Acid Rain. <https://www.epa.gov/acidrain/effects-acid-rain>.
- USEPA (2016b) Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors.
- Wang C, Corbett JJ, Firestone J (2007) Modeling energy use and emissions from North American shipping: Application of the ship traffic, energy, and environment model. *Environ Sci Technol* 41:3226-3232. doi: 10.1021/es060752e
- Wang S, Notteboom T (2013) LNG as a ship fuel : perspectives and challenges. *Port Technol* 010:33-35.
- Whall C, Cooper D, Archer K, et al (2002) European Commission Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community.
- Winiwarter W, Kuhlbusch TAJ, Viana M, Hitzenberger R (2009) Quality considerations of European PM emission inventories. *Atmos Environ* 43:3819-3828. doi: 10.1016/j.atmosenv.2009.05.023
- Winther M, Christensen JH, Plejdrup MS, et al (2014) Emission inventories for ships in the arctic based on satellite sampled AIS data. *Atmos Environ* 91:1-14. doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.03.006
- WSC (2016) Air Emissions. <http://www.worldshipping.org/industry-issues/environment/air-emissions>.
- Yau PS, Lee SC, Corbett JJ, et al (2012) Estimation of exhaust emission from ocean-going vessels in Hong Kong. *Sci Total Environ* 431:299-306. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.03.092
- Zanne M, Počuča M, Bajec P (2013) Environmental and Economic Benefits of Slow Steaming. *Trans Marit Sci* 02:123-127. doi: 10.7225/toms.v02.n02.005

Anexo A - Resumo dos Anexos I a V da MARPOL

Anexo I - Regulamentações para a Prevenção da Poluição por Óleos (entrou em vigor a 2 de outubro de 1983)

Este Anexo engloba a prevenção de poluição petrolífera, resultante quer de origem operacional, quer por derrames. Devido aos ajustes efetuados em 1992, tornou-se obrigatória a construção de um duplo casco para os navios petroleiros, bem como a incorporação do mesmo para os petroleiros já existentes (IMO 2016b).

Anexo II - Regras para o Controlo da Poluição por substâncias líquidas nocivas transportados a granel (entrou em vigor a 2 de outubro de 1983)

Neste Anexo estão detalhados os critérios associados a descargas e medidas de controlo da poluição causada por substâncias líquidas nocivas transportadas a granel. A descarga destas substâncias deve ser efetuada apenas em instalações específicas, com concentrações e condições específicas para cada substância, sendo que a descarga de resíduos contendo substâncias nocivas é permitida apenas a 22,22 km (12 milhas náuticas) da costa (IMO 2016b).

Anexo III - Prevenção da Poluição por substâncias nocivas transportadas por via marítima em embalagens, contentores, tanques portáteis, camiões tanques e vagões cisterna (entrou em vigor a 1 de julho de 1992)

Este Anexo contém informação acerca dos requisitos relacionados com as operações de empacotamento, rotulagem, documentação, condicionamento, quantidades limite, exceções e notificações. Para o propósito deste Anexo, as substâncias consideradas perigosas são aquelas que são identificadas como poluentes marinhos no Código Internacional de Produtos Perigosos ou que estão descritas no Apêndice do Anexo III (IMO 2016b).

Anexo IV - Regras para a prevenção da Poluição por Esgotos Sanitários dos Navios (entrada em vigor a 27 de setembro de 2003)

Este Anexo contém informação relativa aos requisitos de controlo da poluição causada pelos sistemas de esgotos dos navios. A descarga de esgotos no mar é proibida, exceto nos casos em que: i) o navio possui uma estação de tratamento de água aprovada; ou ii) as águas residuais descarregadas estejam desinfetadas e diluídas e sejam descarregadas a mais de 12 milhas náuticas da costa (IMO 2016b).

Anexo V - Regras para a Prevenção da poluição por lixo dos navios (entrada em vigor a 31 de dezembro de 1988)

Neste Anexo, são detalhados, para cada tipo de resíduo, a que distância da costa deve o navio estar para que se possa desfazer dos mesmos. Segundo este Anexo, a deposição de plástico no mar é impreterivelmente proibida (IMO 2016b).

Anexo B - Classificação de navios utilizada

Categoria/ função após pesquisa efetuada	Classificação Final Atribuída
Cargueiro Geral	Cargueiro Geral
Cargueiro Geral c/ capacidade de transportar contentores	Cargueiro Geral
Navio Frigorífico	Cargueiro Geral
Transporte de Animais Vivos	Cargueiro Geral
Cargueiro Ro-Ro	Cargueiro Ro-Ro
Transportador de veículos	Cargueiro Ro-Ro
Cargueiro Ro-Ro c/ capacidade de Transporte de Contentores	Cargueiro Ro-Ro
Graneleiro	Graneleiro
Graneleiro c/ capacidade de transportar contentores	Graneleiro
Transportador de cimento a granel	Graneleiro
Transportador de minerais a granel	Graneleiro
Transportador de madeira a granel	Graneleiro
Navio Cisterna	Navio Cisterna
Transportador de Petróleo/Alcatrão	Navio Cisterna
Transportador de Gás Natural/LNG	Navio Cisterna
Transportador de Produtos Químicos	Navio Cisterna
Navio de Passageiros	Navio de Passageiros
Ferry	Navio de Passageiros
Cruzeiro	Navio de Passageiros
Navio de Passageiros / Ro-Ro	Navio de Passageiros
Rebocador	Outros
Draga	Outros
Batelão	Outros
Navio de Circulação em Gelo	Outros
Plataforma Flutuante	Outros
Navio de Guerra	Outros
Navio transportador de lodo	Outros
Não específico	Outros
late	Outros
Navio para Pesquisa Científica	Outros
Navio de pesca	Navio de Pesca
Porta Contentores	Porta Contentores