André Filipe Conceição Estratégias mitigadoras da poluição atmosférica Neves associadas a atividades portuárias

André Filipe Conceição Estratégias mitigadoras da poluição atmosférica Neves associadas a atividades portuárias

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Doutora Myriam Lopes, Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento e sob a coorientação da Doutora Alexandra Monteiro, Investigadora Principal do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

O trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto AIRSHIP, projeto financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Competitividade e Internalização (COMPETE2020) e por Fundos Nacionais através da FCT do PTDC (PTDC/AAG-MAA/1581/2014 - POCI-01-0145-FEDER-016708).

o júri

Professor Doutor Mário Miguel Azevedo Cerqueira Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro Presidente

Vogais Professora Doutora Myriam Alexandra dos Santos Batalha Dias Nunes Lopes Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

Doutora Susana Marta Lopes Almeida

Investigadora Auxiliar do Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares- Instituto Superior Técnico

Agradecimentos

Agradeço à minha orientadora, Doutora Myriam Lopes e coorientadora, Doutora Alexandra Monteiro por toda a disponibilidade, apoio, sugestões e transmissão de conhecimento.

Agradeço à Sandra Sorte e ao Michael Russo por toda a ajuda prestada para a realização deste trabalho e ainda a todo o gabinete do GEMAC pela simpatia e pela forma que me receberam no período em que lá me encontrei.

Agradeço a todos os meus amigos e familiares pelo companheirismo e força nos momentos mais complicados.

Por último, um agradecimento especial aos meus pais por todos os sacrifícios realizados e por estarem sempre presentes em todos os momentos.

palavras-chave

Qualidade do ar, Transporte Marítimo, Áreas Portuárias, Estratégias Mitigadoras, Poluentes Atmosféricos

Resumo

O aumento do transporte marítimo ao longo dos últimos anos tem atraído uma enorme atenção por parte de várias organizações internacionais. É estimado que cerca de 90% do transporte de mercadorias é realizado por via marítima. Um dos grandes problemas associados a este tipo de transporte é a emissão de grandes quantidades de poluentes atmosféricos que degradam a qualidade do ar a nível global.

As áreas portuárias encontram-se intimamente ligadas ao transporte marítimo, uma vez que todas atividades (receção de mercadorias, manuseamento de material, entre outras) contribuem para a degradação da qualidade do ar local, sendo por isso necessário encontrar estratégias para reduzir as emissões provenientes tanto destas áreas como para o transporte marítimo.

O objetivo do presente trabalho é a identificação de estratégias mitigadoras para reduzir o impacte das emissões provenientes tanto do transporte marítimo, como também de todas as atividades portuárias associadas, de forma a gerir da melhor forma a qualidade do ar, estando esta dividida em duas escalas.

A primeira escala é a escala local, com um caso de estudo no Porto de Leixões, sendo este um dos principais e mais completos portos marítimos comerciais de Portugal. Primeiramente foram identificados os principais problemas existentes a nível global e em específico para cada terminal existente, sendo que de seguida foi identificado e analisado um conjunto de estratégias para solucionar estes problemas e melhorar a qualidade do ar na área portuária. Estas medidas encontram-se dividas em medidas específicas para solucionar o problema existente num terminal e ainda medidas gerais para combater a poluição atmosférica de forma geral.

A segunda escala de trabalho, analisa o transporte marítimo em Portugal, sendo este um dos principais meios de transporte de mercadorias, onde são mencionadas as estratégias mitigadoras existentes a implementar. Estas estratégias encontram-se divididas em medidas organizacionais, uso de combustíveis alternativos, técnicas operacionais e melhoria da eficiência energética.

Keywords

Air Quality, Shipping, Port Areas, Mitigation Strategies, Air Pollutants

Abstract

The increase in shipping over the last few years has attracted great attention from several international organizations. It's estimated that about 90% of freight is carried by sea. One of the major problems associated with this type of transport is the emission of large quantities of air pollutants that degrade air quality globally.

Port areas are closely linked to maritime transport, since all activities (receiving goods, handling material, among others) contribute to the degradation of local air quality, so it's necessary to find strategies to reduce the emissions in these areas and in maritime transport.

The aim of this work is the identification of mitigation strategies to reduce the impact of emissions from both maritime transport and all associated port activities, which is divided into two scales.

The first scale is the local scale, with a case study at the Port of Leixões, this being one of the main and most complete seaports in Portugal. First, the main problems at global and specific levels for each terminal were identified. Then a set of strategies where identified and analyzed to solve these problems and to improve the air quality in the port area. These measures are divided into specific measures to solve the problems related to a specific terminal and general measures to reduce air pollution.

The second scale analyzes maritime transport in Portugal, being one of the main means of transport of goods, showing the existing mitigation strategies to be implemented. These strategies are divided into organizational measures, use of alternative fuels, operational techniques and improved energy efficiency.

Índice

Lista de	Figuras	xv
Lista de	Tabelas	xvii
Lista de	acrónimos, abreviaturas e símbolos	xix
1. Int	rodução	1
1.1 E	nquadramento	1
1.2 0	bjetivos	3
1.3 E	strutura da dissertação	4
2. Est	ado da arte	5
2.1	Emissões Marítimas e impacto na qualidade do ar	5
2.2	Atividades Portuárias e Estratégias Mitigadoras	8
2.3	Enquadramento Legislativo	13
3. Est	tratégias/Linhas orientadoras à escala Portuária	21
3.1	Atividade Portuária em Portugal	21
3.2	Caso de Estudo: Porto de Leixões	25
3.3	Metodologia	27
3.4	Problemas Identificados e Medidas a Adotar	29
3.5	Questionário de avaliação das medidas	38
3.6	Seleção das medidas mitigadoras	40
4. Est	tratégias/Linhas orientadoras à escala nacional	43
4.1	Transporte Marítimo em Portugal	43
4.2	Medidas/ Estratégias Mitigadoras	46
4.2.1	Medidas Organizacionais/ Slow Steaming	46
4.2.2	. Uso de Combustíveis alternativos	47
4.2.3	Melhoria da Eficiência energética	52
4.2.4	Técnicas Operacionais	53
5. Co	nclusão	57
Referêr	ncias Bibliográficas	61
Anexos		A-1
Ληρν	ο Λ	۸_1

Estratégias mitigadoras	da noluicão	atmosférica	associadas a	atividades	nortuárias

Lista de Figuras

Figura 1:Contributo do setor de transportes de para as emissões de poluentes atmosféricos totais
na Europa (EEA, 2017)6
Figura 2:Contributo do transporte marítimo nas emissões de poluentes troposféricos na Europa
(Viana et al, 2014) 7
Figura 3:Fontes de emissões atmosféricas dentro um porto marítimo. (Aparício et al, 2017) 9
Figura 4: Áreas de controlo de emissões existentes na Europa (azul claro) (Nielsen e Enger, 2015).
14
Figura 5: Limites de teor máximo de enxofre nos combustíveis impostos pela IMO (Entec, 2010).14
Figura 6: Localização geográfica dos principais portos comerciais em Portugal Continental (AdC,
2018)
Figura 7: Evolução da quantidade de mercadoria movimentada nos portos comerciais de Portugal
Continental (AMT, 2016)
Figura 8: Número de embarcações de pesca licenciadas por ano (Pordata, 2019)24
Figura 9: Número de embarcações de pesca licericiadas por ano (Fordata, 2019) 24 - Prigura 9: Número de embarcações de pesca com e sem motor (INE,2018)
Figura 10: Docas e Terminais do porto de Leixões
Figura 11: Metodologia Utilizada
Figura 12: Fontes de energia possíveis para a implementação do "Shore Power". (Siddiek et al,
2013)
Figura 13: Interface do questionário realizado, página de rosto (esquerda) e exemplo de página de
medidas (direita)
Figura 14: Principais rotas marítimas (ADC, 2015)43
Figura 15: Contribuição do transporte marítimo nas emissões de poluentes atmosféricos na Europa
e Portugal (Russo et al,2018)44
Figura 16: Contribuição do transporte marítimo na concentração de NO ₂ , PM10 e O ₃ (Russo et al,
2018) 45
Figura 17: Comparação das emissões totais usando OCP (cima) e GNL (baixo) (Hua et al,2017) 49
Figura 18: Relação entre o teor de biodiesel e as emissões associadas (Noor et al, 2018)
Figura 19: Capa da brochura produzida no âmbito do projeto AIRSHIP59
Figura 20: Página inicial e interface do questionárioA-1
Figura 21: Medidas (Boas Práticas) mitigadoras para o Cais de Carga Geral e Granéis Sólidos A-2
Figura 22: Medidas (Estruturais) mitigadoras para o Cais de Carga Geral e Granéis Sólidos
Figura 23: Medidas (Boas Práticas) para o Terminal de Contentores
Figura 24: Medidas (Estruturais) mitigadoras para o Terminal de Contentores
Figura 25: Medidas (Boas Práticas) para o Terminal de Cruzeiros
Figura 26: Medidas(Boas Práticas (esquerda) e Estruturais (direita) para o Terminal de Petroleiros.
A-5
Figura 27: Medidas (Boas Práticas (esquerda) e Estruturais (direita) para o Cais de Movimentação
de Granéis Líquidos
Figura 28: Medidas (Boas práticas (esquerda) e Estruturais (direita) para o Terminal RO-RO A-6
Figura 29: Medidas (Boas Práticas (esquerda) e Estruturais (direita) para as Instalações
EspecializadasA-7
Figura 30: Medidas (Boas Práticas) globaisA-7
Figura 31: Medidas (Estruturais) globaisA-8

Estratégias mitigadoras	da noluicão	atmosfárica	accordadac	a atividadec	nortuárias
Latiategias illitigationas	ua Doluicao				

Lista de Tabelas

Tabela 1: Limites de emissões de NOx por ciclo (Nielsen e Enger, 2015)
Tabela 2: Exigências quanto ao teor máximo de enxofre nos combustíveis por parte da IMO e da UE
(NABU, 2015)
Tabela 3: Valores limite, alvo e limiares de alerta presentes no Decreto-Lei nº102/2010 relativas à
qualidade do ar
Tabela 4: Infraestruturas existentes nos portos comerciais de Portugal Continental (AdC,2018) 25
Tabela 5: Principais problemas identificados no Porto de Leixões com potencial impacte na
qualidade do ar
Tabela 6: Estratégias/Medidas mitigadoras a implementar nos diversos terminais do Porto de
Leixões31
Tabela 7: Tipo de combustíveis alternativos e a sua contribuição na redução das emissões (Deniz
and Zincir, 2016)50
Tabela 8: Medidas tecnológicas para reduzir as emissões de NO _x (Yang et al,2012)53
Tabela 9: Técnicas conhecidas para reduzir as emissões de SO _x e as suas vantagens e desvantagens
(Yang et al, 2012)

Estratégias mitigadoras da poluição atmosférica associadas a atividades portuárias

Lista de acrónimos, abreviaturas e símbolos

CO	Monóxido de carbono

CO₂ Dióxido de Carbono

COV Compostos Orgânicos Voláteis

DM Diesel Marinho

D2N Doca 2 Norte

D2S Doca 2 Sul

FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia

ECAs Áreas de Controlo de Emissão (Emission Control Areas)

EPA Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Environmental Protection Agency)

GEE Gases com Efeito Estufa

GM Gasóleo Marítimo

GNL Gás Natural Liquefeito

IMO Organização Marítima Internacional (Internacional Maritime Organization)

LCA Análise Ciclo de Vida (Life Cycle Analysis)

NECAs Áreas de Controlo de Emissão de Azoto (Nitrogen Emission Control Area)

NO₂ Dióxido de Azoto NO_x Óxido de Azoto

O₃ Ozono

OCI Óleo Combustível Intermédio OCM Óleo Combustível Marítimo

OCP Óleo Combustível Pesado

PM Material Particulado

PM2,5 Material particulado com dimensão inferior a 2,5µm

PM10 Material particulado com dimensão inferior a 10µm

RO-RO Roll on/Roll off

SECAs Áreas de Controlo de Emissão de Enxofre (Sulphur Control Emission Area)

SO₂ Dióxido de Enxofre SO_x Óxido de Enxofre UE União Europeia Estratégias mitigadoras da poluição atmosférica associadas a atividades portuárias

1. Introdução

1.1 Enquadramento

A qualidade do ar é uma componente ambiental bastante importante para a saúde humana, podendo ser afetada por variadíssimas causas, principalmente atividades antropogénicas (Ledoux et al, 2018). A poluição atmosférica é uma das principais causas ambientais que resultam num grande risco para saúde humana, sendo por isso fundamental encontrar formas de mitigar este problema (Astrom et al, 2018).

Um dos setores económicos que tem atraído grande atenção em termos ambientais é o setor marítimo e portuário (Dragovic et al, 2018), sobretudo devido à sua grande dependência no que diz respeito ao uso de combustíveis fósseis, o que leva a uma grande contribuição para a poluição atmosférica, contribuindo assim para a degradação da qualidade do ar (Monteiro et al, 2018; Chen et al, 2019).

O transporte marítimo apresenta uma tendência de aumento, diretamente relacionada com o aumento da economia mundial e das trocas comerciais entre os vários países (globalmente). Contudo, este crescimento possui um ritmo mais elevado do que a economia trazendo por isso alguns problemas (Hua et al, 2017). É estimado que cerca de 90% de toda a troca de mercadorias e bens em todo mundo é realizada por via marítima, o que revela a importância deste setor, tornando-o no principal meio de transporte de mercadorias no mundo (IMO, 2011). A nível europeu o transporte marítimo é responsável por 75% das trocas de mercadorias no seu território (EEA, 2017).

Um dos grandes problemas associados a este tipo de transporte são as emissões de poluentes atmosféricos (Anturri el al, 2016) que, segundo estudos já realizados, ocorrem na maioria dos casos a cerca de 400 km da linha de costa nas zonas de rotas internacionais (Nunes et al, 2017). Estes poluentes emitidos conseguem ser transportados com relativa facilidade para zonas costeiras povoadas trazendo assim problemas tanto a nível local, como global, para a saúde humana e ainda para os ecossistemas (Nunes et al, 2017; Hua et al, 2017). Este tipo de transporte contribui para uma grande parte das emissões antropogénicas de óxidos de enxofre (SO_x) e azoto (NO_x) (Lindstad et al, 2016), sendo também um dos maiores emissores de dióxido de carbono (CO₂) a nível global do setor dos transportes (Yaun, 2019).

As áreas portuárias contribuem para o desenvolvimento social e económico das zonas costeiras (Merico et al, 2016), uma vez que estas encontram-se na sua grande maioria em grandes zonas de urbanização (Kozarev et al, 2014), sendo por esta razão frequente afirmar que os portos marítimos são uma extensão das cidades onde estes se encontram, podendo ainda tomar um papel importante para a prática de iniciativas de transporte sustentável (EEA, 2017).

As atividades que ocorrem dentro dos portos marítimos não se prendem apenas com o transporte marítimo dentro do porto, existindo várias fontes que contribuem para a poluição atmosférica nestas áreas, que como no resto do setor encontra-se dependente do uso de combustíveis fósseis (Kozarev et al, 2014). Existem ainda mais fontes emissoras associadas a outras atividades como a movimentação de cargas, levando a emissões fugitivas, sobretudo de material particulado (Borrego et al, 2007), responsáveis pela deterioração da qualidade do ar local afetando não só os trabalhadores, como também a população envolvente residente (NABU, 2015).

A definição de estratégias de mitigação para reduzir estes problemas é um ponto fulcral para que exista não só uma harmonia entre as áreas portuárias e as zonas de urbanização envolventes, mas também ao nível do transporte internacional, de forma a se conseguir minimizar os impactes associados a este tipo de transporte e melhorar a qualidade do ar tanto local como global.

O projeto AIRSHIP, desenvolvido pelo grupo GEMAC da Universidade de Aveiro, tem como principal objetivo avaliar qual o impacto que as emissões do transporte marítimo possui na qualidade do ar em Portugal e em especial na zona urbana do Porto, utilizando dois cenários, o cenário atual e um cenário futuro (2020-2030). Trata-se de um projeto financiado pela FCT de 2016 a 2019.

Para se conseguir atingir o objetivo proposto, este projeto encontra-se estruturado em quatro tarefas distintas:

- 1. Desenvolvimento e avaliação de cenários de emissões do transporte marítimo para o presente e projeções futuras, para o domínio de Portugal e zona urbana do Porto, onde são estimados e compilados todos os dados disponíveis sobre o transporte marítimo em Portugal, englobando todos os poluentes atmosféricos associado, sendo estes comparados com os dados de emissões de outros setores terrestres. As projeções de emissões futuras para Portugal baseiam-se nas projeções Europeias, considerando todas as tendências socioeconómicas e ainda todas as regulamentações que ainda irão ser impostas;
- Avaliação do impacte na qualidade do ar dos diferentes cenários de emissões desenvolvidos com recurso à modelação numérica da qualidade do ar, utilizando um sistema de modelação WFR-CHIMERE, sendo inicialmente aplicado a um domínio grosseiro (Europa) passando para uma abordagem mais especifica para a área urbana do Porto e Portugal;
- 3. Caso de estudo: Porto de Leixões, onde é pretendido avaliar o impacte das emissões marítimas, incluindo ainda todas as emissões provenientes das atividades portuárias. É realizada ainda uma simulação à escala local, utilizando para esse efeito a modelação numérica com recurso ao modelo OpenFOAM e ainda a modelação física através da utilização do túnel de vento.

4. Elaboração de um conjunto de medidas/estratégias mitigadoras, com efeito na qualidade do ar para Portugal e para a área urbana do Porto, de modo a dar resposta aos problemas encontrados tanto no caso de estudo do Porto de Leixões, como também para minimizar os impactes associados ao transporte marítimo no país.

Este projeto procura assim dar resposta a conjunto de questões tais como, qual será o impacte das emissões do transporte marítimo na qualidade do ar Portugal e o seu contributo na degradação da qualidade do ar a uma escola local, com principal foco na zona urbana do Porto e ainda qual o impacte das emissões do transporte marítimo num cenário futuro, considerando as projeções de emissão e clima futuro.

1.2 Objetivos

A presente dissertação insere-se na tarefa 4 do projeto AIRSHIP, e tem como principal objetivo delinear estratégias mitigadoras e boas práticas para reduzir o impacte das emissões provenientes tanto do transporte marítimo, como também de todas as atividades portuárias associadas, de forma a gerir de melhor forma a qualidade do ar, estando esta dividida em duas escalas: a escala local, com um caso de estudo no Porto de Leixões e a escala regional onde irá ser abordado o transporte marítimo em Portugal. De salientar que com a realização desta tarefa, pretende-se que o resultado da mesma sirva como referência nível nacional no que diz respeito a encontrar soluções adequadas para mitigar/reduzir o impacto na poluição atmosférica provocado pelo transporte marítimo e atividades portuárias.

Desta forma, com o caso de estudo no Porto de Leixões serão identificados os principais problemas existentes em todo o porto, de modo a identificar as melhores medidas/estratégias mitigadoras existentes para minimizar o impacte desses problemas na qualidade do ar, tanto dentro do Porto de Leixões, como na área próxima ao porto (capítulo 3).

A segunda parte do trabalho é realizada a uma escala nacional, onde primeiramente é analisado qual o contributo das emissões provenientes do transporte marítimo na degradação da qualidade do ar em Portugal, tendo em conta os principais tipos de navios que navegam pelas rotas marítimas portuguesas e a compilação de estudos já realizados, de maneira a elaborar um conjunto de estratégias para minimizar esses efeitos (capítulo 4).

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se subdividida em 4 capítulos, em que no capítulo 1 "Introdução" é realizado um enquadramento geral sobre as temáticas abordadas, mais propriamente a gestão qualidade do ar, o transporte marítimo internacional e ainda as atividades portuárias.

No capítulo 2, **"Estado da arte"**, inicialmente é abordado todo o estado arte sobre as emissões provenientes das atividades marítimas e portuárias, sendo ainda identificadas as medidas mais populares, sendo posteriormente feito o enquadramento legislativo relativo ao transporte marítimo, atividades portuárias e ainda da gestão da qualidade do ar ambiente.

No capítulo 3, "Estratégias/Linhas orientadoras à escala portuária", relata-se todo o trabalho desenvolvido à escala local, onde inicialmente é realizado um breve enquadramento sobre o setor portuário em Portugal. De seguida, é apresentado o caso de estudo, o Porto de Leixões, com uma breve descrição sobre este porto, a metodologia utilizada para a realização desta parte do trabalho, a identificação dos problemas existentes e as possíveis medidas a implementar, e, por fim, a análise dos resultados do questionário efetuado e seleção das medidas/estratégias mitigadoras.

Por fim, no capítulo 4, "Estratégias/Linhas orientadoras à escala nacional", enquadra-se inicialmente o transporte marítimo à realidade portuguesa, sendo posteriormente desenvolvido um conjunto de estratégias mitigadoras a serem implementadas, de forma a reduzir as emissões de poluentes atmosféricos a partir dos navios.

2. Estado da arte

2.1 Emissões Marítimas e impacto na qualidade do ar

As emissões marítimas e impactes que lhe estão associados têm atraído uma elevada atenção nos últimos tempos, tendo surgido inúmeros estudos e publicações científicos, como por exemplo Nunes et al (2017), Ledoux et al (2018), Viana et al (2014), entre outros, uma vez que estas emissões têm vindo a aumentar nos últimos tempos, contribuindo para a poluição atmosférica global e ainda para a degradação da qualidade do ar nas zonas costeiras (Viana et al, 2014).

Como todas as atividades marítimas dependem do uso de combustíveis fósseis, as emissões de poluentes atmosféricos associados compreendem gases de combustão, incluindo gases com efeito de estufa (EEA, 2017). Segundo um estudo realizado pela Agência Europeia do Ambiente, é estimado que em áreas portuárias cerca de 55% a 77% das emissões para a atmosfera são provenientes do transporte marítimo. Este estudo inclui também as emissões de gases com efeito estufa (GEE), indicando que o transporte marítimo contribui, atualmente, em 2,5% das emissões globais a nível mundial. Desde 1990 as emissões de GEE do transporte marítimo internacional sofreram um aumento de 22% a nível global, sendo o segundo maior emissor. Na Europa, em 2015, o transporte marítimo contribuiu com 13% nas emissões totais de gases com efeito estufa.

A emissão de GEE tem tido uma atenção especial, principalmente da Organização Marítima Internacional (IMO), responsável pelo desenvolvimento de diversos estudos específicos focados na inventariação de emissões marítimas. De acordo com o estudo realizado pela IMO sobre a emissão de GEE, em 2014, é notória a redução da contribuição do transporte marítimo nas emissões globais deste tipo de poluentes atmosférico. Este estudo mostra ainda que os navios de contentores, petroleiros e navios de material a granel são os que mais contribuem para emissão de gases com efeito estufa (IMO, 2014).

A figura 1 mostra o contributo do setor de transporte nas emissões globais de poluentes atmosféricos para a Europa em 2015, onde é possível constatar que o transporte marítimo internacional é um dos setores que mais contribuem para os valores totais de emissão de NO_x e SO_x e PM2,5, sendo que para os restantes poluentes a sua contribuição é baixa (EEA, 2017).

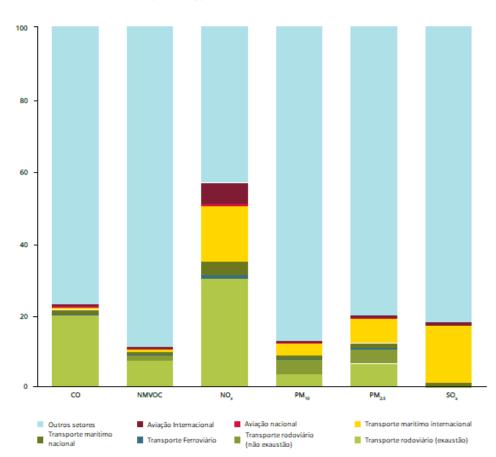


Figura 1:Contributo do setor de transportes de para as emissões de poluentes atmosféricos totais na Europa (EEA, 2017).

Tendo em conta o tema das emissões do transporte marítimo para a qualidade do ar, foram realizados diversos estudos, que avaliam o impacto destas emissões na qualidade do ar urbana na zona costeira europeia, analisando todos os gases poluentes emitidos, bem como as partículas de diferentes tamanhos. Segundo Viana et al (2014) as emissões do transporte marítimo contribuem entre 1 a 7% para os valores de PM10 no ar ambiente e de 1 a 14% para o nível de PM2,5 no ar ambiente das zonas costeiras Europeias. Este estudo revela, ainda, que o transporte marítimo contribui para os níveis de NO_x no ar ambiente entre 7 a 24%, sendo que os valores registados mais elevados encontravam-se na Holanda e na Dinamarca (Figura 2).

Em relação à contribuição das emissões provenientes dos navios nos portos marítimos, Nunes et al (2017) analisou o contributo de todas as emissões libertadas pelos navios, tendo em conta o seu tipo (de contentores, passageiros) e o seu modo de operação (em manobra ou atracado) em quatro porto marítimos portugueses, sendo estes o Porto de Viana do Castelo, Porto de Leixões, Porto de Sines e Porto de Setúbal, durante os anos de 2013 e 2014. O estudo conclui que o CO₂, NO_x e SO₂ eram os poluentes emitidos em maior quantidade não só dentro do porto, mas também durante a navegação dos navios nas rotas marítimas, representando cerca de 95% das emissões totais.

A Figura 2 mostra qual o contributo do transporte marítimo para a concentração dos principais poluentes troposféricos ao longo de toda a área do continente europeu.

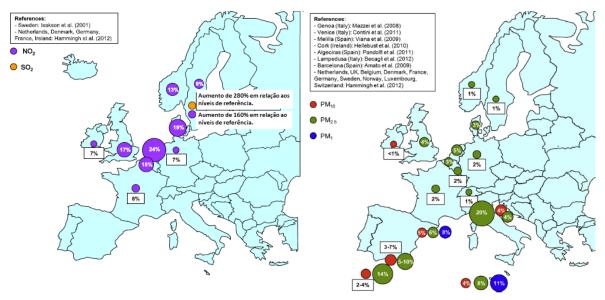


Figura 2:Contributo do transporte marítimo nas emissões de poluentes troposféricos na Europa (Viana et al, 2014).

Em outro sentido, Russo et al (2018), recorrendo a um inventário de emissões europeu TNO, avalia o impacto das emissões provenientes do transporte marítimo para os níveis dos principais poluentes atmosféricos, nomeadamente material particulado e ozono, na Europa e em particular em Portugal. Este estudo baseou-se na aplicação de um sistema de modelação numérica (WFR-CHIMERE) de alta resolução, onde foram analisados dois cenários um em que era considerado as emissões do transporte marítimo e outro sem essas mesmas emissões para o ano de 2016. Os resultados obtidos mostram que estas emissões são responsáveis, em Portugal por 23% para as concentrações de NO_x e em cerca de 5% para as PM10 e 2% para as concentrações de ozono.

Ledoux et al (2018) analisou também a influência das emissões dos navios nas concentrações de NO_x, SO₂, O₃ e partículas a uma escala local, através de um caso de estudo onde se procurou entender qual seria a influência das emissões resultantes dos navios no Porto de Calais, situado em França, e ainda uma cidade rural próxima ao porto denominada Cape Gis-Nez . De modo a compreender melhor a influência destas emissões, foi também analisada a contribuição das emissões provenientes do porto nas concentrações dos poluentes referidos e o impacto das emissões dos navios dentro do porto na qualidade do ar, tendo-se verificado alguns picos nas concentrações diárias considerando os vários cenários de direções do vento nestas zonas. Neste estudo verificou-se que as concentrações dos poluentes atmosféricos com maior percentagem de concentração no porto eram o SO₂, NO e NO₂, sendo que estes poluentes também se encontravam em maior quantidade na zona próxima ao porto do que na zona rural de Cape Gis-Nez, e que o poluente com menor percentagem de concentração eram as PM10.

Mais recentemente, Chen et al (2019) quantificaram os impactos das emissões dos navios na composição anual e sanzonal de PM2,5 na região do delta do rio Yangtze River Delta na China. Para atingir esse objetivo, o autor utilizou um sistema de modelação WFR/SMOKE/CMAQ e analisou ainda a deposição de enxofre e azoto nessa área. Os resultados mostraram que a contribuição anual dos navios para o PM2,5 seria de até 35% nas zonas próximas aos portos, uma vez que em relação à deposição de enxofre esta encontrava-se localizada nas zonas de rotas marítimas da região.

Merico et al (2016) estudaram a contribuição das emissões marítimas nas concentrações dos poluentes atmosféricos (NO, NO₂, SO₂ e O₃) e material particulado dentro dos portos, considerando as várias fases que o navio atravessa, assim como as fases de manobra e de atracação, analisando nesta última as operações de carga e descarga, uma vez que são estas operações que mais potenciam a emissão de poluentes atmosféricos a partir dos navios dentro de um porto marítimo. O estudo sugere que os gases poluentes atmosféricos apresentam uma contribuição maior do que o material particulado, e que o gás que teve menor contribuição foi o SO₂ em comparação com NO e o NO₂, resultante da utilização de combustíveis com baixo teor de enxofre.

2.2 Atividades Portuárias e Estratégias Mitigadoras

As diversas atividades realizadas dentro de um porto marítimo constituem variadíssimas fontes de emissão de poluentes atmosféricos (NABU, 2015).

Estas atividades encontram-se muitas vezes relacionadas com operações ocorrentes em terminais específicos existentes no porto, como também possuem um carácter geral. Em termos gerais tem-se o tráfego rodoviário, o manuseamento de equipamento (gruas, pórticos) e ainda as emissões provenientes dos navios a manobrar dentro do porto. Como exemplo de atividades especificas de um certo terminal ou cais existente no porto, tem-se o manuseamento e transporte de material a granel, podendo este ser sólido ou líquido, e ainda o maior fluxo de tráfego, nomeadamente de camiões existente nos terminais de contentores (NABU, 2015).

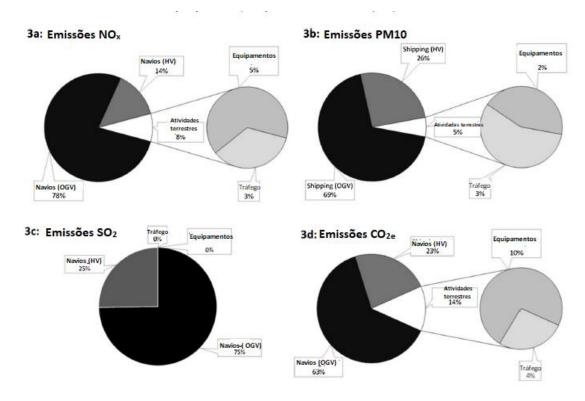


Figura 3:Fontes de emissões atmosféricas dentro um porto marítimo. (Aparício et al, 2017).

Assim, uma das atividades portuárias que desperta uma maior atenção é o armazenamento, manuseamento e transporte de material em granel, sendo este assunto abordado em Borrego et al (2007) e Sorte et al (2018), onde os autores têm uma abordagem semelhante para dar resposta aos problemas relatados, sendo o primeiro artigo um caso de estudo no Porto de Leixões e o segundo um caso de estudo no Porto de Aveiro. Ambos os estudos sugerem uma série de medidas mitigadoras e boas práticas que devem ser adotadas pela administração do porto, de modo a minimizar e prevenir os efeitos adversos destas operações, sendo que em ambos os estudos é utilizado o método de modelação física com recurso ao túnel de vento, para definir a melhor posição de uma barreira protetora e da pilha de material em granel, sucata e *pet coke* respetivamente.

Outro documento que aborda algumas boas práticas a adotar no caso dos granéis sólidos é o *Manual of Best Management Pratices for Port Operations And Model Environmental Management System*, desenvolvido pela Universidade de Perdue e a American Great Lakes Ports Association. Este documento aborda também algumas boas práticas para as operações que carga e descarga de graneis líquidos, identificando, ainda, possíveis problemas relacionados com estes.

Uma das zonas de um porto marítimo que atraem uma atenção especial são os terminais de contentores, uma vez que estes fazem parte da cadeia logística dos portos, dado serem um ponto de conexão entre os navios de carga e a rede terrestre como refere Rusca et al, (2018), onde o autor procurar identificar qual a influência da área de armazenamento no *design* da capacidade

dos terminais de contentores, utilizando um modelo de simulação para um terminal de contentores hipotético, considerando todas as atividades existentes nos terminais de contentores, bem como a existência de áreas específicas para contentores que transportem substâncias perigosas. O modelo usado neste estudo compreende cinco cenários, onde se conclui que a área de armazenamento no terminal de contentores possui uma grande influência nos parâmetros das atividades de manuseamento do terminal.

Nos terminais de contentores existe também uma grande afluência de transporte rodoviário, predominantemente camiões, sendo que este movimento gera principalmente problemas de congestionamento à entrada e à saída do terminal, como é descrito em Maguire et al (2010), onde se propõe um conjunto de estratégias operacionais com a finalidade de reduzir o congestionamento nos terminais de contentores. Neste estudo, existe uma estratégia que se tornou bastante popular e estudada pela comunidade, a qual compreende um sistema de marcação (principalmente) para as operações de carga dos camiões.

Chen et al (2011) analisaram e desenvolveram um modelo de programação não linear utilizando uma abordagem de otimização para apresentar inicialmente um padrão de chegada dos camiões ao terminal e, consequentemente, definir um padrão desejável de chegada dos camiões ao terminal tendo em conta as diversas variáveis temporais. Em Chen et al (2013), os autores propõem uma metodologia para melhorar o padrão de chegada dos camiões, com o objetivo de diminuir as emissões de marcha lenta provenientes dos motores dentro do terminal de contentores. Para isso, desenvolveram um modelo com um duplo objetivo, sendo o primeiro a diminuição do tempo de espera dos camiões no terminal e o segundo a alteração do padrão de chegada, tendo os resultados obtidos mostrado que uma pequena mudança na chegada dos camiões tinha resultados bastante significativos nas emissões destes. O sistema de marcação de horário de camiões, com o passar do tempo tornou-se bastante popular, sendo necessário combiná-lo com o escalamento das operações internas (Li et al, 2018). Assim, Zehendner e Feillet (2014) desenvolveram um modelo de programação linear misto, de forma a definir o número de marcações a oferecer, tendo em conta toda a carga de trabalho e capacidade de movimentação disponível no terminal. Do ponto de vista económico, Phan e Kim (2015), desenvolveram um processo de negociação para diminuir a chegada de vários camiões das diversas empresas nas horas de pico de funcionamento do terminal, sugerindo uma formulação matemática para esse efeito. Os autores desenvolveram ainda um modelo de tomada de decisão descentralizada de modo a auxiliar o processo de negociação entre as empresas de camiões e os operadores do terminal.

Mais recentemente, Li et al (2018), estudaram qual o efeito causado pela chegada tardia ou antecipada dos camiões à hora marcada no sistema, bem como a chegada de camiões sem hora marcada e procuraram encontrar uma estratégia de resposta que mantivesse a alta resiliência dos sistemas face a estas chegadas não marcadas ou tardias. Para isso, consideraram vários cenários avaliando a capacidade de resiliência através de dois indicadores de desempenho: o tempo de

espera total dos camiões pontuais e as emissões de marcha lenta totais de todos os camiões presentes no terminal, de modo a definir um serviço de qualidade para todos os camiões pontuais e alcançar um bom desempenho do sistema.

Sendo os navios uns dos maiores emissores de poluentes de gases de exaustão no transporte marítimo e nas áreas portuárias, têm existido várias restrições legislativas por parte da Organização Marítima Internacional ao nível destas emissões (Seddiek e Elgohary, 2014). Em Seddiek e Elgohary (2014), os autores abordam as diferentes estratégias a aplicar nos navios de forma a diminuir as emissões de SO_x e NO_x, dividindo estas estratégias em tecnológicas e mudanças para combustíveis mais limpos. Sardinha (2013) e Han (2010), apresentam também algumas estratégias e medidas mitigadoras para se atingirem os objetivos propostos pelas regulações da IMO, bem como algumas medidas possíveis de implementar nas áreas portuárias.

Uma das medidas propostas compreende o uso de combustíveis mais limpos. Anturri et al (2016), analisaram os custos e benefícios de medidas de mitigação das emissões de enxofre no transporte marítimo no Mar Báltico. Para analisar os custos, os autores basearam-se na tomada de decisão preferencial dos proprietários dos navios entre a utilização de combustíveis de baixo teor de enxofre e a utilização de purificadores de enxofre, já que os benefícios foram simulados através de uma análise da formação, transporte e dispersão dos poluentes e respetivos impactes positivos na saúde face à melhoria da qualidade do ar.

Hua et al (2017) apresentam um estudo de caso onde comparam dois navios a operar entre a China continental e Taiwan, um deles utilizando um combustível fóssil, o Óleo Combustível Pesado (OCP) e outro que utiliza um combustível alternativo, neste caso o Gás Natural Liquefeito (GNL), através de um inventário de ciclo de vida para as emissões, utilizando o software LCA e avaliando ainda o impacte no aquecimento global destes dois tipos de combustível. Os autores concluíram que o GNL traz inúmeras vantagens na redução das emissões, em particular para o NO_x, com reduções de 38% para NO_x e 42% para CO e com os resultados ainda mais expressivos nas emissões de SO₂ e PM10, com reduções de 99.8% e 97,5% respetivamente. Comparando estes dois combustíveis como energia de propulsão do navio, o GNL obteve reduções de SO₂ na ordem dos 24 a 50%.

No que diz respeito às estratégias mitigadoras existentes para os navios a operar nos portos, Aparício et al (2017) desenvolveram um inventário de emissões considerando os navios e todas as atividades portuárias, com um caso de estudo para o Porto de Oslo. O autor estimou ainda essas emissões para um cenário futuro, tendo em conta algumas estratégias mitigadoras e as regulações impostas a nível dos combustíveis a utilizar, tendo sido notória uma redução das emissões de todos os poluentes associados e ainda que os maiores contribuidores para emissão de poluentes neste caso de estudo foram os navios que chegavam ao porto.

Lai et al (2011) propõem um quadro conceptual para avaliar as práticas "verdes" do transporte marítimo desenvolvendo uma série de condições e apresentando sugestões para um comportamento sustentável por parte das empresas de navegação.

Yang et al (2012) desenvolveram uma metodologia para que os fabricantes de navios conseguissem implementar técnicas de controlo de emissões de NO_x e SO_x, com recurso a uma ferramenta de avaliação com vários parâmetros como o rácio de redução de emissão, custo e esperança de vida. Conclui-se que, para o NO_x, as melhorias técnicas a implementar seriam a redução catalítica seletiva e motor a ar húmido, enquanto para SO_x a melhor técnica seria o dimensionamento do tanque segregado, uma vez que este permite o uso de combustíveis alternativos.

Seddiek et al (2013) abordam uma das medidas mais comentadas para navios que se encontram atracados nos portos, denominada "Shore Power", que passa pelo fornecimento de energia elétrica a um navio enquanto este se encontra atracado, mostrando quais as formas possíveis de implementar, bem como as suas condicionantes.

Uma outra estratégia operacional bastante utilizada pelas maiores empresas de navios de carga mundiais é o "Slow Steaming", sendo esta uma medida que passa por reduzir a velocidade do navio em operação. Esta estratégia foi estudada mais aprofundadamente pela *Marine Insight*, com a criação de uma guia explicativo desta técnica, tendo em conta os seus benefícios e as suas principais limitações (Marine Insight, 2012).

Navamuel et al (2018) estudaram de que forma o sistema automático de atracação (AMS) poderia contribuir para a redução das emissões de CO₂ emitidas pelo navio no terminal de carga rolante (RO-RO), através de duas metodologias de cálculo distintas, sendo a primeira da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) e a segunda da ENTEC. Os resultados obtidos pelo autor revelaram uma redução das emissões de CO₂ de aproximadamente 97% com a utilização do AMS em comparação com o sistema tradicional.

Em suma, com a revisão destes artigos mencionados acima, é possível identificar vários tipos de medidas mitigadoras tanto para os navios, como ainda para o movimento de cargas/operações em terra.

Assim, como tipologia de medidas para navios temos:

- Medidas Organizacionais ("Slow Steaming");
- Uso de combustíveis alternativos (Gás Natural Liquefeito, Biodiesel);
- Medidas de melhoria da eficiência energética (gestão de conservação de energia do navio);
- Técnicas Operacionais (técnicas específicas para reduzir as emissões de NO_x e SO_x).

Para as operações portuárias estas dividem-se em:

- Boas práticas (ex: banir marcha lenta);
- Medidas Estruturais (ex: instalar no cais uma manga de vento visível em todo o cais).

2.3 Enquadramento Legislativo

Ao longo do tempo têm surgido regulamentações e restrições ao nível das emissões de poluentes atmosféricos associados ao transporte marítimo.

A nível global, a entidade responsável por regular a poluição causada pelo transporte marítimo é a Organização Marítima Internacional (IMO). No que diz respeito à prevenção da poluição atmosférica, no ano de 1997, a IMO adotou o Anexo VI da Convenção Internacional para a Poluição dos Navios (MARPOL 73/78) que estabelecia restrições paras as emissões de óxidos de azoto (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x) e compostos orgânicos voláteis (COV) e ainda proibia emissões deliberadas de substâncias depletoras do ozono (O₃), tendo entrado em vigor a 19 de Maio de 2005, uma vez que, nesse mesmo ano, o Comité de Proteção do Meio Marinho (MEPC) aceitou rever este anexo (IMO, 2019).

Em 2008, a revisão do Anexo VI foi adotada em conjunto com o Código Tecnológico do NO_x, sendo que as principais alterações foram a redução progressiva das emissões de SO_x, NO_x e material particulado (PM) e ainda a extensão das áreas de controlo de emissões (ECAs) mais restritas para os poluentes mencionados (IMO, 2019).

Assim, para o SO_x ocorreu uma redução global do teor de enxofre nos combustíveis dos 4,5% para os 3,5% m/m, sendo que este valor deverá ser reduzido progressivamente até Janeiro 2020 para os 0,5%. Nas áreas de controlo de enxofre, designadas por SECAs, foi definido que o teor máximo de enxofre e material particulado nos combustíveis dos navios que naveguem nessas áreas fosse igual a 1% em detrimento dos inicias 1,5%, uma vez que desde Janeiro de 2015 esse valor foi reduzido para os 0,1% (IMO,2019). De salientar que existem três SECAs em vigor na Europa (Figura 4), estando estas localizadas no Mar Báltico, Mar do Norte e Canal da Mancha e ainda na área da América do Norte e área de oceano entre os Estados Unidos e as Caraíbas (Nielsen e Enger, 2015).



Figura 4: Áreas de controlo de emissões existentes na Europa (azul claro) (Nielsen e Enger, 2015).

Na figura 5, são representadas todas as diminuições impostas nos que diz respeito ao teor máximo de enxofre nos combustíveis.

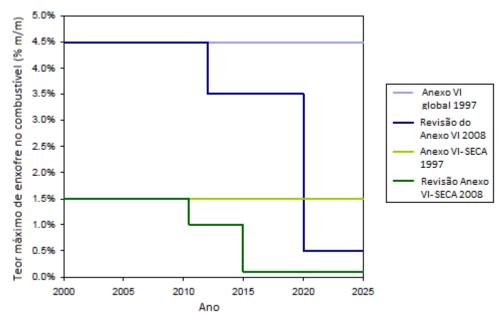


Figura 5: Limites de teor máximo de enxofre nos combustíveis impostos pela IMO (Entec, 2010).

No que diz respeito aos limites de emissão dos óxidos de azoto (NO_x) dos motores a *diesel*, estes encontram-se divididos em vários níveis dependendo do ano de construção do navio:

- Nível I- navios cujo motor a diesel tenha sido instalado a partir de 1 de Janeiro de 1990;
- Nível II- motores a diesel instalados a partir de 1 de Janeiro de 2011;
- Nível III- navios construídos a partir de 1 de Janeiro de 2016.

O limite de emissão encontra-se relacionado com o número de rotações por minuto do motor, sendo que estes valores encontram-se descritos na Tabela 1 (IMO, 2019) (Nielsen and Enger, 2015). De realçar que existe uma redução do valor de emissões entre o nível II e o nível III de 20 % e entre o nível III de 75% (EEA, 2017).

Tabela 1: Limites de emissões de NOx por ciclo (Nielsen e Enger, 2015).

Nível	Ano de construção do navio	Limite total de emissões por ciclo (Kg/kWh)			
		n< 130 rpm	130 <rpm<1999< td=""><td>n≥200 rpm</td></rpm<1999<>	n≥200 rpm	
I	1 de Janeiro de				
	2000	17	45*n ^{-0.2}	9,8	
II	1 de Janeiro de				
	2011	14,4	44*n ^{-0.23}	7,7	
III	1 de Janeiro de				
	2016	3,4	9*n ^{-0.2}	2,0	

Relativamente às áreas de controlo de emissões para os óxidos de azoto (NO_x), NECAs, é importante referir que não existe nenhuma na Europa, sendo que se encontra previsto a implementação da primeira NECA na Europa em 2021, existido já alguns estudos realizados para esta ser criada na zona do Mar Báltico, Mar do Norte e Canal da Mancha, uma vez que esta é uma das regiões onde existe uma maior movimentação de navios e também aproveitando a existência de uma área de controlo de emissões de enxofre para estas zonas. (EEA, 2017).

A nível europeu, a temática da redução das emissões marítimas, principalmente dos gases de exaustão, vem sendo abordada há algum tempo, tendo sido introduzida inicialmente pela Diretiva 1999/32/EC, que pretendia reduzir o teor de enxofre de alguns combustíveis, limitando o teor máximo de enxofre em combustíveis navais e impondo requisitos mínimos para os combustíveis utilizados por navios atracados nos portos da União Europeia. É de salientar que esta não abrangia as emissões de NO_x nem de PM (Sardinha, 2013).

Em 2005, foi terminada a Estratégia Temática sobre a Poluição Atmosférica que pretendia reduzir as emissões de SO_x, NO_x, e PM, tendo sido nesse mesmo ano introduzida a Diretiva 2005/33/EC que nomeou o Mar Báltico, Mar do Norte e Canal da Mancha como áreas de controlo

de enxofre, impondo um teor máximo de enxofre nos combustíveis de 1,5% nestas áreas, sendo este limite também imposto a navios de passageiros a circular fora das áreas de controlo de emissões de enxofre (SECAs). A partir de 2010, todos os navios atracados nos portos da EU, durante um período igual ou superior a 2 horas, passaram a ter um limite máximo de teor de enxofre de 0,1% (Sardinha, 2013).

A Diretiva 2012/33/EU veio alterar a Diretiva 1999/32/EC, e reformulou todas as imposições de enxofre de acordo com a revisão do Anexo VI da MARPOL e estabeleceu ainda um teor máximo de enxofre nos combustíveis marinhos de 0,5% até 2020 e um teor máximo de enxofre para combustíveis de navios que utilizem lavadores de gases de evacuação de 3,5% (Sardinha, 2013). Mais recentemente entrou em vigor a Diretiva 2016/802/EC, que pretende regular o teor de enxofre nos combustíveis marítimos, sendo que, desde 2015, nas áreas de controlo de enxofre (SECAs), o teor máximo de enxofre nos combustíveis é de 0,1% (EEA, 2017).

De salientar que existem algumas diferenças entre as exigências do teor de enxofre nos combustíveis por parte da IMO e da União Europeia, dependendo do local, e na quantidade de emissão de NO_x dependendo estas do tipo e idade do navio (Sardinha, 2013). A Tabela 2 resume todas a exigências feitas tanto pela IMO como pela UE.

Tabela 2:Exigências quanto ao teor máximo de enxofre nos combustíveis por parte da IMO e da UE (NABU, 2015).

	2010	2015	2020		
IMO					
SECAs	1,0%	0,1%	0,1%		
Fora das					
SECAs	3,5%	3,5%	0,5%		
Atracado	O mesmo limite que a respetiva área				
UE					
SECAs	1,0%	0,1%	0,1%		
Fora das					
Fora das SECAs	3,5%	3,5%	0,5%		
	3,5%	3,5% 0,1%	0,5% 0,1%		

Em relação aos gases com efeito estufa, a IMO tem realizado vários estudos de forma a compreender qual o seu efeito e associação ao transporte marítimo. Assim, em 2011, foi acrescentado um novo capítulo ao Anexo VI da MARPOL que passou a incluir uma componente de medidas técnicas e operacionais mandatárias para reduzir a emissão de gases com efeito estufa do transporte marítimo, tendo como principal finalidade melhorar a eficiência energética dos novos navios através de novas técnicas de dimensionamento e dos navios já existentes e de propulsão (IMO,2011).

A introdução deste novo capítulo foi o primeiro regime de redução de emissões de GEE para todo este setor económico. As medidas presentes neste acordo visam a redução das emissões de dióxido de carbono entre 100 a 180 milhões de toneladas por ano até 2020 e a obrigatoriedade, desde 2013, em monitorizar o consumo de combustível em todos os navios (IMO, 2011).

O Índice de *Design* de Eficiência Energética (EEDI) é um mecanismo que quantifica a massa de dióxido de carbono por massa de mercadoria carregada, que apresenta um conjunto de tecnologias específicas a utilizar nos navios, a quais podem ser adotadas pela indústria de fabricação de navios de forma a ser possível atingir o nível de eficiência requerido. Sendo estes níveis atingidos, isto leva a que os fabricantes de navios possam utilizar as melhores soluções em termos de custo-benefício de acordo com a regulamentação (IMO, 2011).

Outra estratégia implementada pela IMO foi a criação, em 2013, do Plano de Gestão de Eficiência Energética do Navio (SEEMP), que recomenda que todos os navios e companhias marítimas desenvolvam um plano para maximizar a eficiência operacional, que inclui os seguintes procedimentos: planeamento, implementação, avaliação e melhoria (EEA, 2017).

Para o futuro, a IMO pretende reduzir as emissões de gases com efeito estufa em 50%, comparando com o valor de 2008, até 2050.

Na Europa, o transporte marítimo até 2013 era o único setor económico com emissões atmosféricas associadas que não possuía uma meta de redução de emissões (Sardinha, 2013). Em 2013 foi criada uma estratégia para integrar a mitigação das emissões marítimas na política europeia para diminuir as emissões de gases de efeito de estufa, em particular de CO₂. Esta estratégia consiste em monitorizar, verificar e relatar as emissões de CO₂ de navios de grandes dimensões, introduzir metas de redução de emissão para o setor do transporte marítimo e estabelecer algumas medidas de meio a longo prazo, estando previsto a implementação desta estratégia para 2018 (EEA, 2017). Com isto, a União Europeia pretende reduzir as emissões de gases com efeito estufa em cerca 20% até 2020.

Importa referir que existem documentos legislativos específicos para certas atividades que decorrem durante os trabalhos num porto marítimo, como a Diretiva 2012/46/EU que regula as emissões de NO_x, SO₂ e material particulado de todo o equipamento portuário, máquinas de construção, navios e comboios terrestres, denominados como máquinas móveis não rodoviárias (NABU,2015). No entanto, existe um problema nesta Diretiva, uma vez que os valores limite apresentados por esta são pouco exigentes, e aplicam-se a vários tipos de motores (NABU, 2015).

Relativamente à gestão da qualidade do ar nos portos marítimos, assim como no ar ambiente em geral, o principal documento legislativo é a Diretiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 21 de Maio de 2008 também designada Diretiva-Quadro da Qualidade do Ar, que estabelece que para uma gestão de qualidade do ar eficiente esta deve focar-se em alguns pontos essenciais, como a identificação das principais fontes de emissão de poluentes

atmosféricos, bem como formas de avaliar o impacte das mesmas e as suas concentrações através de métodos de monitorização e de modelação, e estabelece ainda valores limites, alvo e limiares de alerta e de informação para a concentração dos poluentes atmosféricos mais prejudiciais tanto para o ambiente, como para a saúde humana. Esta diretiva, foi transposta para a jurisdição portuguesa pelo Decreto-Lei 102/2010, de 23 de Setembro (APA, 2019).

Na Tabela 3 encontram-se apresentados todos valores legislados mencionados acima para os poluentes atmosféricos SO_2 , NO_2 , material particulado e O_3 .

Tabela 3: Valores limite, alvo e limiares de alerta presentes no Decreto-Lei nº102/2010 relativas à qualidade do ar.

Poluente	Terminologia	Período Considerado	Valor Limite	Nº de excedência s permitidas
PM ₁₀	Valor limite diário	24 horas	50 μg/m ³	35
PIVI ₁₀	Valor limite anual	Ano civil	40 μg/m ³	-
PM _{2.5}	Valor alvo Ano civil		25 μg/m³	-
	Valor limite horário	24 horas	350 μg/m³	24
SO ₂	Valor limite anual	Ano civil	125 μg/m³	3
302	Limiar de alerta	Base horária medido em 3 horas consecutivas	500 μg/m³	-
	Valor limite horário	1 hora	200 μg/m³	18
NO ₂	Valor limite anual	Ano civil	40 μg/m³	-
	Limiar de alerta	3 horas	400 μg/m ³	-
	Valor alvo para a sáude humana	Máximo das médias octo- horárias do dia	120 μg/m³	25
Оз	Limiar de alerta	1 hora	180 μg/m³	-
	Limiar de informação	1 hora	240 μg/m³	-

Para além das emissões marítimas, a atividade portuária tem outras fontes de emissão associadas, como por exemplo a circulação de veículos ligeiros e camiões. Estas emissões encontram-se reguladas pela Diretiva 2007/715/EC no caso dos veículos ligeiros e pela Diretiva 2005/55/EC para os veículos pesados (NABU, 2015).

É de referir ainda a Diretiva 2014/94/EU – relativa à criação de uma infraestrutura para combustíveis alternativos (transposta pelo Decreto-Lei n-º 60/2017) cujo objetivo é minimizar a dependência em relação ao petróleo e de atenuar o impacto ambiental dos transportes.

Tendo em conta todas as regulamentações impostas pela IMO, Tichavksa et al (2017) procuraram entender se estas trariam algo de diferente no que diz respeito às emissões dos navios dentro dos portos marítimos recorrendo à modelação numérica. Foram analisados diferentes casos

de estudo como o Porto de Las Palmas e o Porto Hong Kong, tendo os resultados apontado que com estas regulamentações as concentrações de poluentes na área portuária são significativamente reduzidas.

Astrom et al (2018) fazem uma análise socioeconómica acerca da implementação da área de controlo de emissões de azoto no Mar Báltico e Mar do Norte. Foram utilizados dois tipos de modelos, um para calcular a dispersão de emissões (Gains) e outro para estimar os valores monetários dos impactes na saúde (Alpha-Risk Poll), utilizando cenários que se diferenciavam principalmente com o tipo de combustível marinho utilizado, considerando toda a regulamentação para o NO_x. Verificou-se que a utilização do GNL nestas áreas seria a opção mais viável, tendo em conta os benefícios associados.

Halff et al (2019) abordam as novas regulamentações que irão ser impostas pela IMO a partir de 2020, analisando-as aprofundadamente sobre o seu impacte no mercado marítimo, tendo um foco principal no setor dos combustíveis, onde avaliam qual seria o melhor combustível alternativo a utilizar. Neste estudo, são abordadas ainda outras estratégias como "Slow Steaming" e ainda a criação de novas rotas marítimas mais curtas de forma a reduzir a quantidade de poluentes emitidos.

Estratégias mitigadoras da poluição atmosférica associadas a atividades portuárias

3. Estratégias/Linhas orientadoras à escala Portuária

Neste capítulo é apresentado o trabalhado desenvolvido para o caso de estudo no Porto de Leixões. Começa-se por um enquadramento de toda a atividade portuária existente em Portugal (3.1), sendo de seguida apresentada uma breve descrição sobre o caso de estudo, o Porto de Leixões (3.2) e apresentada a metodologia utilizada para a realização do trabalho (3.3). Posteriormente é feita a identificação dos problemas existentes no Porto de Leixões e quais as possíveis medidas/ estratégias mitigadoras a implementar para os solucionar (3.4). Por fim, é exposto todo o procedimento para a construção do questionário para avaliar as medidas a implementar (3.5) e ainda qual o melhor conjunto de medidas mitigadoras a implementar (3.6).

3.1 Atividade Portuária em Portugal

Relativamente ao setor portuário em Portugal Continental, este compreende um total de nove portos marítimos comerciais (ver a sua localização geográfica na Figura 6), estando estes divididos em sistema portuário primário, constituído pelos Portos de Leixões, Aveiro, Lisboa, Sines e Setúbal e sistema portuário secundário, com os Portos de Viana de Castelo, Figueira da Foz, Portimão e Faro.

A grande parte deste conjunto de portos (Leixões, Aveiro, Lisboa, Setúbal, Sines e Portimão) encontra-se na Rede Transeuropeia de Transporte (RTE-T). Dentro desta rede existem diferentes nós, tendo os portos de Leixões, Lisboa e Sines (os maiores a nível nacional) sido integrados na rede principal desta Rede Transeuropeia.

A principal diferença entre o sistema portuário primário e secundário, é o fato dos portos marítimos que se encontram no sistema portuário principal são geridos por Administrações Portuárias enquanto os portos marítimos do sistema portuário secundário encontram-se geridos pelo Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos (MOPTC, 2006).

Ao longo dos anos algumas administrações portuárias têm-se juntado, como é o caso dos Portos de Leixões e Viana do Castelo que passaram a ser geridas pela Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, S.A. (APDL), os Portos de Aveiro e Figueira da Foz, pela Administração do Porto de Aveiro e ainda os Portos de Sines, Faro e Portimão, estando estes administrados pela Administração dos Portos de Sines e do Algarve, S.A..



Figura 6: Localização geográfica dos principais portos comerciais em Portugal Continental (AdC, 2018).

Estes portos marítimos encontram-se principalmente distribuídos pela rota marítima Este-Oeste, a qual faz ligação com o continente Americano, e que se cruza com a rota Norte-Sul. Esta rota permite a ligação com os países do Norte da Europa denominada como corredor Atlântico, no Porto de Sines (Figura 14), sendo por esta razão o principal porto marítimo comercial do país (AdC, 2015). De salientar que a maioria destes portos comerciais, principalmente os portos marítimos que se encontram no sistema primário principal, têm movimentos tanto de importação como de exportação de mercadorias elevado, o que os torna muito movimentados em termos do número de navios, bem como todas as operações que estas requerem nos processos de carga e descarga das mesmas. Estas mercadorias encontram-se divididas em granéis sólidos, granéis líquidos, RO-RO e carga geral contentorizada e carga geral fracionada (AdC,2015).

Segundo o relatório anual relativo ao mercado portuário, elaborado pela Autoridade de Mobilidade e dos Transportes, para o ano de 2016, é possível verificar que as principais mercadorias movimentadas no espaço marítimo português são carga contentorizada e granéis líquidos. Na Figura 7 apresenta-se a evolução da quantidade, em kilotoneladas, de cada classe de carga movimentada entre 2012 e 2016 nos portos marítimos portugueses.

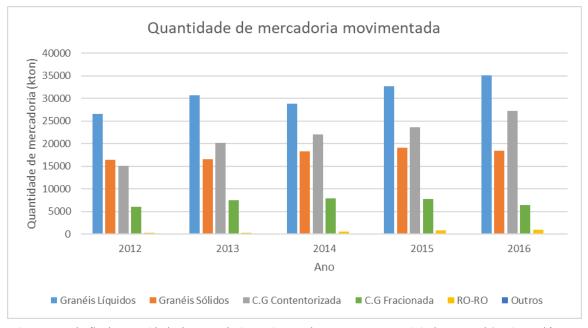


Figura 7: Evolução da quantidade de mercadoria movimentada nos portos comerciais de Portugal Continental (AMT, 2016).

As atividades portuárias não se resumem, no entanto, apenas à receção e manuseamento de mercadorias. Em alguns portos marítimos portugueses existem infraestruturas dedicadas exclusivamente a embarcações de pesca, sendo que estas podem ter várias classes de acordo com a sua capacidade, existindo diversos portos de pesca e de recreio que recebem este tipo de embarcações espalhados pela zona litoral de Portugal.

Segundo dados disponibilizados pelo PORDATA, é possível constatar que os números de embarcações de pesca no território português têm vindo a diminuir com o decorrer dos anos (Figura 8). No entanto, mesmo com esta redução o número de embarcações de pesca que utilizam motor aumentou bastante em relação número de embarcações sem motor, sendo que para o ano de 2017 cerca de 80% das embarcações de pescas licenciadas possuíam motor (ver figura 9) (INE, 2018).

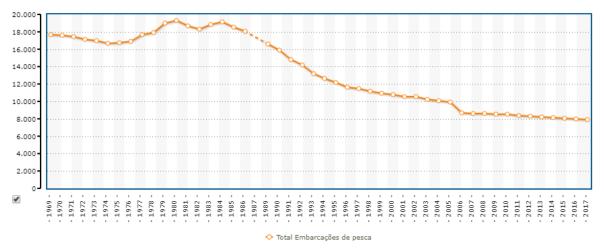


Figura 8: Número de embarcações de pesca licenciadas por ano (Pordata, 2019).

O maior problema associado a este tipo de embarcações de pesca é o tipo de combustível que utilizam, uma vez que na sua grande maioria utilizam a gasolina, o fuelóleo e o gasóleo, sendo este último o tipo de combustível mais utilizado para estas embarcações. A utilização destes tipos de combustíveis está associada a emissões de poluentes elevadas, o que contribui bastante para a degradação da qualidade do ar local.

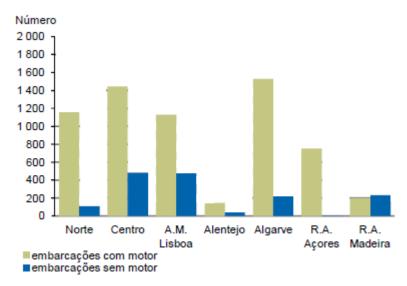


Figura 9: Número de embarcações de pesca com e sem motor (INE,2018).

Para além disso, existem alguns portos que possuem infraestruturas que permitem a receção de navios de passageiros, como é o caso dos Portos de Leixões, Lisboa e Portimão e ainda os dos Açores e Madeira, o que reforça a preocupação dos portos marítimos em monitorizar e solucionar possíveis casos de problemas de qualidade do ar dentro dos mesmos, de forma a que estes não afetem a saúde não só dos trabalhadores mas também dos passageiros que desembarcam nesses portos e ainda a população envolvente ao porto.

Na Tabela 4 é apresentada a listagem de todos os portos marítimos existentes em Portugal Continental e o tipo de terminais que estes possuem, sendo que a região do Algarve engloba os dois portos marítimos existentes nessa região, o Porto de Faro e de Portimão.

Terminais	V.Castelo	Leixões	Aveiro	Fig.Foz	Lisboa	Setúbal	Sines	Algarve
Carga Fracionada/Multiusos	X	X	Х	X	X	Х	X	X
Carga i racionada/ Murtiusos	^	^	^	^	^	^	^	^
Contentores		.,	.,					
Contentores		X	Х	X	X	X	X	
Granéis Sólidos	.,	.,	.,					
Graneis Solidos	Х	Х	X	X	X	X	X	
Constitution de								
Granéis Líquidos	Х	X	X		Х	X	X	X
Passageiros		Х			X			X
Portos de Pesca	Х	Х	X	Х	Х	X	X	X
Doca de Recreio	Х	X	X	X	X	X	X	X
Carga RO-RO	Х	Х	Х		Х	Х	Х	Х
	Cecisa	TCL	APA	APFF	Liscont	Tersado	CLT	APS
Principais operadores na	Galp	TCGL	Socapor	Operfoz	Sotagus	Sadoport	PSA	
exploração de terminais	Secil	Petrogal	Prio	Liscont	Silopor	Sapec	Repsol	
		SdL	Aveiport		Tanquipor	Secil	Portsines	
portuários					E.T.E	Tanquisado	REN	
					Sovena		Atlântico	

Tabela 4: Infraestruturas existentes nos portos comerciais de Portugal Continental (AdC,2018).

Não sendo possível analisar no tempo disponível todas as operações existentes em cada porto marítimo em Portugal, o presente trabalho focou-se no caso de estudo no Porto de Leixões, onde será abordada a estrutura do porto, bem como o tipo de material recebido e as operações realizadas, de modo a compreender quais são os principais problemas associados a cada infraestrutura/material. Este porto foi selecionado por ser um dos mais complexos e apresentar todos os tipos de terminais identificados (Tabela 4).

3.2 Caso de Estudo: Porto de Leixões

A gestão do Porto de Leixões é da responsabilidade da Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, S.A., geralmente denominada por APDL. A APDL é responsável pela exploração económica, segurança e conservação do Porto de Leixões (APDL, 2018). Ao longo dos anos a APDL alterou o seu modelo de gestão, afastando-se da atividade operacional relacionada com a movimentação de cargas e acentuando as funções de controlo e fiscalização e de autoridade portuária. Neste contexto, o Porto de Leixões concessionou a quase totalidade das funções de movimentação de cargas para o setor privado, encontrando-se os cais praticamente todos concessionados.

O Porto de Leixões, situado na zona litoral norte de Portugal aproximadamente a 9 km da cidade do Porto, é o segundo maior porto marítimo a nível nacional e o maior da região Norte representando cerca de 25% do comércio marítimo internacional do país (Nunes et al, 2017). Segundo o Relatório de Sustentabilidade da APDL para ano de 2017, o Porto de Leixões teve um movimento anual de navios de 2561 navios, o que correspondeu a uma movimentação total de mercadorias de 19 516 220 toneladas (APDL, 2018).

O Porto de Leixões é constituído por vários terminais dos quais se destacam os seguintes (Figura 10):

Cais Convencionais de Carga Geral e Granéis Sólidos: destes cais fazem parte a Doca 1
 (Norte e Sul), a Doca 2 (Norte e Sul) e a Doca 4 (Norte) também denominada como Terminal de Granéis Agro-Alimentares.

As Docas 1 (Sul), 2 (Norte e Sul) e 4 (Norte), encontram-se concessionadas ao Terminal de Carga Geral e Granéis de Leixões, S.A (TCGL). Na Doca 2 Sul, procede-se sobretudo à descarga de navios que transportam sucata e estilha. De realçar, que nesta mesma doca, ocorre ainda a movimentação de granéis líquidos que são enviados para a CEPSA- Companhia de Petróleos, Lda, localizada em Matosinhos através de um sistema de pipelines.

Maioritariamente na Doca 2 Norte é movimentado material como pedras de granito, ferro e aço e na Doca 4 Norte são movimentados granéis agroalimentares principalmente para os Silos de Leixões. Na Doca 1 Sul, para além dos terraplenos destinados à movimentação de carga geral, existem dois armazéns para expedição de cimento a granel, estando estes armazéns concessionados à SECIL- Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A.

- Silos de Cereais: tratam-se de instalações especializadas onde são armazenados cereais, derivados de oleaginosas e outros produtos alimentares. Estes silos encontram-se concessionados pelo Silos de Leixões- Unipessoal, Lda.
- Doca 1 Norte e Terminal de Cruzeiros: na doca 1 Norte encontra-se o cais RO-RO, que se destina a serviços de embarque e desembarque de carga rolante, como por exemplo veículos ligeiros e equipamentos pesados. Neste local, encontra-se ainda o Terminal de Cruzeiros Norte, sendo que o Porto de Leixões possui dois terminais de cruzeiros.

No ano de 2011, foi inaugurado o Terminal de Cruzeiros Sul localizado no Molhe Sul do Porto de Leixões, o que permitiu receber navios de passageiros de maiores dimensões projetando assim um aumento do turismo local.

- Terminal de Contentores: dividido em duas áreas distintas, uma a Norte do rio Leça e outra a Sul, este terminal está concessionado ao TCL Terminal de Contentores de Leixões, S.A..
- Terminal Multiusos: localizado no Molhe Sul, este terminal destina-se essencialmente ao tráfego Ro-Ro.

- Terminal de Petroleiros: concessionado à Petrogal Petróleos de Portugal, S.A., este terminal dispõe de três postos de acostagem e está ligado à Refinaria da Petrogal através de *pipelines*. De modo a permitir a descarga de navios petroleiros maiores (até 150.000 DWT), em 2006 iniciou-se a operação de descarga no TOGL Terminal Oceânico Galp-Leça, destinado à receção de petróleo em bruto para a Refinaria da Petrogal;
 - Porto de Pesca: este porto encontra-se concessionada à DOCAPESCA-Portos e Lotas, S.A.



Figura 10: Docas e Terminais do porto de Leixões.

3.3 Metodologia

A metodologia usada neste trabalho compreende várias etapas. Inicialmente, procedeu-se à identificação dos potenciais problemas de cada terminal existente no Porto de Leixões. Esta identificação foi realizada através de alguma suposições e pesquisas bibliográficas, bem como algumas informações fornecidas pela administração do porto e ainda algumas visitas às instalações portuárias.

Terminada essa etapa, foi realizada uma pesquisa bibliográfica cujo principal objetivo era a identificação de possíveis medidas/ estratégias mitigadoras a serem adotadas para solucionar os problemas identificados anteriormente. Para esta pesquisa foram utilizadas algumas palavras chave

(ex. transporte marítimo, áreas portuárias, medidas mitigadoras), quer na pesquisa de artigos científicos (com recurso ao *Scopus* e *Science Direct*), quer em manuais e guias de boas práticas e ainda relatórios de outros portos marítimos.

Identificadas as possíveis medidas a implementar, estas foram divididas em dois grupos: boas práticas e medidas estruturais, de modo a que fosse possível uma melhor compreensão e caracterização do tipo de medida a implementar e as suas vantagens/limitações.

Após esta distinção, foi elaborado um questionário com a finalidade de aplicar um inquérito para se obter uma avaliação qualitativa das medidas propostas, por parte dos técnicos da administração e concessionários do Porto de Leixões. O questionário foi desenvolvido através do *Google Forms*, com o objetivo de ser respondido individualmente e *online*. Foi efetuado um teste prévio com elementos da equipa do projeto, para avaliar o questionário e introduzir melhorias. Posteriormente, o inquérito foi enviado para a APDL para ser distribuído pelos seus técnicos e os técnicos dos concessionários.

Por fim, as respostas ao questionário obtidas por parte administração e concessionário do Porto de Leixões foram analisados, de modo a selecionar/priorizar as melhores medidas/ estratégias mitigadoras a aplicar nos diversos terminais.

Na Figura 11, é apresentado um esquema que compreende todas as fases que compõem a metodologia aplicada.

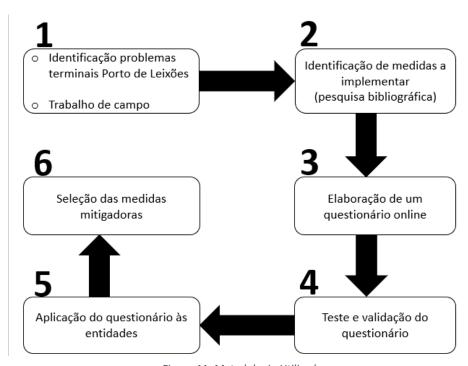


Figura 11: Metodologia Utilizada.

3.4 Problemas Identificados e Medidas a Adotar

Para identificar os problemas que poderiam estar presentes em cada terminal, foi inicialmente necessário fazer o levantamento de todas as infraestruturas e atividades realizadas no Porto de Leixões de forma a perceber quais seriam os possíveis problemas de poluição atmosférica associados. De salientar que existem alguns problemas que são específicos para alguns terminais em questão, problemas esses que foram comunicados pela administração do Porto de Leixões, como por exemplo, no cais convencional de carga geral e granéis sólidos, onde existem algumas queixas provenientes da população residente próxima à área do porto.

Na Tabela 5, encontram-se os problemas identificados para cada terminal, bem como alguns problemas gerais do porto.

Tabela 5: Principais problemas identificados no Porto de Leixões com potencial impacte na qualidade do ar.

Cais e Terminais	Problemas Identificados/ Origem		
Problemas Globais	Emissões provenientes dos navios a manobrar e atracados. Emissões de gases de exaustão provenientes do tráfego rodoviário existente no porto e dos equipamentos utilizados (gruas, tratores)		
Cais Convencionais de Carga Geral e Granéis Sólidos (D2N e D2S)	Manuseamento e transporte de material a granel: Ressuspensão de partículas; Dispersão de poeiras (sucata e estilha (D2S) e granito (D2N)).		
Terminal de Contentores	Emissão de gases de combustão provenientes dos veículos de carga.		
Terminal de Petroleiros	Emissões de poluentes atmosféricos no processo de descarga da matéria-prima.		
Instalações Especializadas (Silos)	Emissões de gases de combustão provenientes do método de transporte do material do navio para a zona de armazenamento.		

Com a identificação destes problemas, foi possível, então, procurar e identificar as melhores medidas/estratégias mitigadoras a implementar, de forma a conseguir resolver ou minimizar os efeitos destes problemas na deterioração da qualidade do ar no Porto de Leixões e áreas envolventes ao porto.

Como já mencionado, estas medidas foram dividas em boas práticas e medidas estruturais, sendo que foram identificadas 30 boas práticas e 29 medidas estruturais. Todas as medidas selecionadas e propostas encontram-se presentes na Tabela 6.

Tabela 6: Estratégias/Medidas mitigadoras a implementar nos diversos terminais do Porto de Leixões.

Cais/Terminal	BookPräico Transportar ne gran afe cólúdhe am ramiðar a nomboine farhadhe	Medidæ Estruturais staler norais ima amanca da vanto visíva lam todo o cais
		inskaar notaatumininga eventov yasvetem toodoo daas Aumentaa otean de humidade dos grapeis reandor aabbas daasta
		ווויבוואם סיבים שב חמוווססבר סיבים ומוויבים מסמווס בים וויכים סיבים מיבים מי
		Posicionar oscanhões de água em função da direção do vento durante o manuse amento das mercadorias (ex. sucata, estilha)
	Diminuir aalturaa que os graneis sólidos são largados nas operações de carga/ descarga	Uso de barreiras e corta-ventos, na zonada pilhade vidro (D2N)
	Não realizar qualquer tipo de gogra xão de cara aou descara a quando as condicões atmosféricas forem desfavoráveis	Alterar a posició e dimensão da pilha de vidro
1 Cair de Carrelle	eorológica	Utiliza pinças de caga ougarra nas gruas
a. Cals de Calga Gel al e Granéis Sól idos (D2S e	Destringt a us lovidate na estrada (madida jálm niementada no Porto i alvões)*	litijs ar handat transnottakhras nara aflerti ar n novesco de destarea de eranáis do nacio nara o local de armasenamento
D2N)	xões)*	control infraestruturas para circuras o processor essengiamens o nor o poro o nome a maseriamento. Construir infraestruturas para cobrir os grandeis armazenados (ex. Hangares, Domes)
	Reduzir o tempo de amazenamento das pilhas de sucatas, estilha e vidro	
	Descanegar a pilha de sucata mais próximo da barreira de contentores e definir a suadimensão máxima (caso não esteja ianda pré-definidal e localização	
	Inspeccionar regularmente os equipamentos utilizados nas operações (ex: Gruas, Canhões de água)	
	Molhar a pedra antes de ser descamezada dos camiões para o cais (er; cóntico de molha)	
	Alterar os processos de movimentação de pedra e de vidro (ex: apenas movimentar esta caga acondicionad aem sacos, caixas)	
2. Instalações	Banir amarchalenta	Subsituir o meio de transporte das mercadorias (ex: optar pelo transporte ferroviário)
Especializadæ (Silos/D4N)	Substituir o tipo de combustível utilizado nos camiões (ex: usar GPL)	Utilizar um sistema pipel ines ou tapetes rolantes paratransportar o material do navio para o local de amrazenamento
	Desligar os ramides enquanto estão em filade espera	Definir a aitura máxima de contentores em altura em cada pa que
3. Terminal de	Baniramachalenta	Alterar a disposição dos contentores do TCS
Contentores Sul	marcação de horário, para evitar o congestionamento no carregamento dos camiões	Criar uma zona de espera para os camiões
	as de ponta*	Utiliza tecnologias de automação, paraver o decorrer das operações em temporeal, de modo afluir melhor o processo de carga dos camiões
		Sub contratar camiões para o transporte interno das mercadorias que utilizem combustíveis alternativos (ex. Camiões eléctricos)
4. Terminal RO-RO		Instalar um sistema automático de atracação
	Ablica atérnic "sowsteamire"	Substituir os motores auxiliares por energia armazenada no navio lex: um contentor com baterias
	navio está atracado	Utilizar Sarubbers (dispositivos purificadores degases)
	Criar zonas de velocidade reduzida para os navios dentro do porto*	Utilitar como combustível GNL (Gás Natural Liquefeito)
		Utilizar tecnologiade redução catalíticaseletivano navio
		Utilizar filtros de partículas
5. Medidæ Globais		Investir em infræstruturæ para fornecer combustiveis afternativos Italia e combustivis in maior de modes en bestin is para electrical formations de monerativis de monerativis de
		onitica controustivers mas impos, cermodo a substituir og estrection for temparagues pestatorias. Utilitar a técnica de injeção de hidrogénio no combustivel utilitado pelos equipamentos (diese)*
		uria minaesututas parautuiza,ao oo shore power (desiga osmoodes principas e awinaes oo narioquando araado erenioa a conexão à rede elétricado porto)
		Utilizar motores hibridos ou elétricos em todos os equipamentos não rodoviários (Gruzs, tratores)*
6. Terminal de Cruzeiros	Implementarareas verdes no terminal Monitorinaria de su alidade do as parafases mainfasos contradas por claración (sur composizon a concreta)	
	Monthly it god us quantizate du an inspire su mais in equenticadas pera população (ex. contrecui su a ser isores). Inspirencionar os en timas entre transfer para as operar ões de cara a (decara a	mniamentar nordalineatos de drenzeam de linha
7. Terminal de Petroleiro:	7. Terminal de Petroleiros Inspeccionar asconexões de carga/descarga dos oleodutos	אַרווומוגע אַ אַרטיניסווויבווניסט סבי סו בווקב בוווסב ווווווס
		Instalar mangueiras autovedantes, na zona de descarga dos navios
of the state of th	Inspeccionar as conexces de carga/descargados oleodutos	instalar sistemas de recuperação de vapor no processo de transferência do produto para os tanques de graneis liquidos
o. cais de movimentação de Granéis Líquidos (D2S)	o. cos ucemonimaticação de Ganéis Liquidos [DZ] Inspeccionar regulamente e textar os sensores de nível de líquido e os alarmes sonoros dos tanques de armarenamento	

^{*}Estas medidas não se encontram apresentadas no questionário.

A. Cais de Carga Geral e Granéis Sólidos (D2S e D2N)

É importante referir a existência de um estudo realizado pelo Instituto do Ambiente e Desenvolvimento (IDAD) para o Porto de Leixões para avaliar o impacte na qualidade do ar e definir soluções técnicas para dar resposta aos problemas (relatados pela APDL), relativos às emissões fugitivas de material particulado proveniente do manuseamento de material de sucata na Doca 2 Sul (Borrego et al, 2007). Com este estudo foram definidas algumas medidas mitigadoras, entre as quais a construção de uma barreira de proteção onde foi necessário estudar a direção do vento dominante na zona do Porto de Leixões, sendo esta de Nordeste (Borrego et al, 2007). Resultante deste estudo, foi ainda desenvolvido um documento intitulado "Sugestões de Boas Práticas", onde se encontra um conjunto de boas práticas que a APDL deveria implementar de forma a resolver ou minimizar os problemas relatados.

Uma vez que, alguns dos problemas relatados para a Doca 2 Norte são semelhantes ao estudo referido acima, as medidas de mitigação resultantes deste poderiam ser tidas em conta para resolver o problema, sendo que a medida que mais se enquadra para este caso seria a construção de uma barreira protetora que impeça o material particulado de ultrapassar a barreira e atingir a população residente próxima ao Porto de Leixões. Ainda assim, para que esta medida seja implementada, é necessário não só conhecer a direção de vento dominante, bem como fazer estudos para perceber qual a melhor posição da barreira para a sua eficácia máxima. Para isso, é necessário recorrer à modelação numérica da dispersão atmosférica à escala local com recurso ainda à modelação física no túnel de vento (Borrego et al, 2007).

Outras medidas possíveis seriam cobrir todo o material de granito com uma lona ou construir infraestruturas capazes de cobrir todo o material em granel armazenado, de forma a proteger este dos efeitos causados pela ação do vento, como por exemplo *Domes* ou *Hangares*. No caso de escolha da utilização de uma lona protetora seria necessário estudar qual o tipo de material mais apropriado a utilizar.

Continuando nos Cais de Carga Geral e Granéis Sólidos, um dos pontos que deveria ser modificado, seria o procedimento de descarga do granéis sólidos para o local de armazenamento e de carga para os camiões, uma vez que este é realizado com recurso a diversos equipamentos como gruas, pás e ainda reboques que são movidos através de combustíveis fósseis, o que aumenta bastante as emissões de gases poluentes no cais. Uma possível solução seria a introdução de uma banda transportadora elétrica para substituir todo este equipamento mencionado, o que eliminaria totalmente as emissões provenientes destes processos. No entanto, esta solução apesar dos benefícios que traz para a melhoria da qualidade do ar nesta zona em específico, iria necessitar de um elevado esforço económico para ser implementada uma vez que teria que estar ligada à rede de distribuição de energia elétrica do porto

B. Instalações Especializadas (Silos)- Doca 4 Norte

Na Doca 4 Norte é sugerido implementar um sistema de *pipelines* para transportar o material a granel (produtos agroalimentares), do navio até ao local de armazenamento. Esta medida pode contribuir bastante para diminuir a quantidade de emissões provenientes do transporte desse mesmo material, uma vez que este é realizado através de camiões. Como grande parte das vezes não está disponível o número de camiões suficiente para se realizar uma única viagem, este tipo de transporte torna-se bastante prejudicial para a degradação da qualidade do ar local devido às sucessivas viagens necessárias para descarregar todo o material recebido.

C. Terminal de Contentores Sul

Para além do local anterior, existem medidas em outros terminais que merecem um destaque maior devido à sua contribuição para atingir o objetivo proposto. Uma destas medidas encontra-se direcionada para o terminal de contentores, sendo esta a criação de um sistema de marcação de horário para os camiões que se deslocam ao porto para serem carregados, com a principal finalidade de reduzir as emissões em marcha lenta e ainda o congestionamento no terminal. Esta é uma medida bastante popular e estudada pela comunidade científica, que se encontra em execução em vários portos norte americanos, como os portos de Nova lorque e Nova Jersey (EPA, 2018). Esta medida encontra-se em execução desde de 2017, nestes dois portos, tendo passado por várias fases como no horário disponível para que os camiões marcassem para recolher a mercadoria, sendo que inicialmente este horário estava estipulado entre as 6 e as 8 horas da manhã, tendo sido estendido em novembro de 2017 para o período entre as 6 horas e as 13 horas durante os dias úteis. Com esta medida foi estimada uma redução nas emissões de CO₂ de 21,000 toneladas por ano e uma redução total de poluentes atmosféricos na ordem dos 61,000 kg por ano (EPA, 2018). Para que esta medida fosse implementada com eficácia no terminal de contentores do Porto de Leixões, seria necessário estudar qual o padrão de chegada dos camiões ao terminal, bem como qual o horário de pico de funcionamento do terminal e ainda outras questões meteorológicas, como a existência da brisa marítima, de forma a estabelecer um horário que seja adequado e eficaz para a redução da maioria dos poluentes atmosféricos. Uma forma de tornar este sistema mais eficiente, para o caso do Porto de Leixões, passaria por adotar a estratégia utilizada no Porto de Nova Orleães, onde a empresa de camiões faz a sua marcação através de uma plataforma online, tendo um tempo de tolerância de 30 minutos, o que permite que a sua reserva seja feita em tempo útil e que a gestão de todas operações existentes no terminal seja feita de forma mais eficiente e organizada, minimizando assim o risco de ocorrer erros (Maguire et al, 2010). Este sistema encontra-se também implementado pela Autoridade Portuária da Georgia, no Porto de Savannah, que introduziu um sistema de marcação online disponível durante 24 horas, sendo possível assim reduzir o tempo de operação dos camiões dentro do terminal em 30% (Maguire et al, 2010). Como já mencionado neste trabalho, esta medida é uma das mais estudadas, sendo que já foi comprovado o seu contributo e eficácia para reduzir o congestionamento dentro dos terminais de contentores, e como consequência a redução das emissões em marcha lenta.

Para além desta medida, outras medidas que poderiam ser implementadas, especialmente para os camiões, compreendem a proibição da entrada no porto de camiões mais antigos, uma vez que estes não possuem as soluções tecnológicas existentes no mercado para os motores a *diesel*. Esta medida, que já foi implementada no Porto de Roterdão, onde apenas camiões que se encontrem na categoria de EURO V e VI são autorizados entrar no porto (NABU, 2015). Outro porto que também tem esta medida implementada é o Porto de Los Angeles, através do "Programa dos Camiões Limpos", que consistiu em banir gradualmente os veículos pesados que não atingissem alguns requisitos impostos pelo Porto (NABU, 2015).

Outra forma de reduzir as emissões provenientes dos camiões, passaria por apostar em combustíveis alternativos, mas uma vez que alguns concessionários do Porto de Leixões subcontratam camiões a algumas empresas, esta medida passaria pela subcontratação camiões que utilizem combustíveis mais limpos, como por exemplo o gás natural comprimido, o gás natural liquefeito e ainda o gás propano líquido. Outra opção passaria pela utilização de camiões elétricos, sendo que com esta alternativa o porto teria de adaptar-se para os receber, incluindo a construção de infraestruturas para carregamento de baterias (NABU, 2015).

Relativamente a medidas estruturais, a definição de uma altura máxima de contentores para cada parque e alteração da disposição dos parques, foram testadas com recurso ao túnel de vento, de modo a que fosse possível compreender o efeito que a posição dos contentores e a direção do vento possuem na acumulação de gases poluentes nesta área do porto. Para esse efeito, foram analisados dois cenários, bem como a direção e velocidade predominante do vento na área do Porto de Leixões. Para a construção dos cenários a avaliar foram utilizadas fotografias do Terminal de Contentores Sul registadas em Dezembro de 2018, de forma a ser possível identificar a configuração do terminal, bem como a disposição dos contentores ao longo dos dois parques de armazenamento existentes.

Para o primeiro cenário foram identificadas e replicadas as configurações dos contentores mais comuns existentes no terminal, uma vez que estas configurações diferiam no número de contentores em largura e altura ao longo terminal. Para o segundo cenário foi considerado que todos os contentores se encontravam dispostos da mesma forma, ou seja, sendo que o número de contentores em largura no parque 1 é de 4 contentores e no parque 2 é de 6 contentores. Para a execução destes cenários foi utilizado um modelo físico com uma escala de 1:150 metros, sendo que os contentores foram construídos em poliestireno com as dimensões do contentor mais utilizado para transporte de material.

No terminal de contentores existe ainda a possibilidade de se utilizar tecnologias de automação para dar resposta ao aumento do tráfico dentro do terminal. Estas tecnologias auxiliam a melhorar produtividade e a diminuição do tempo que cada camião está a operar no terminal, diminuindo assim a quantidade de poluentes emitidos. Existem vários sistemas que podem ser selecionados para dar resposta a estas questões, nomeadamente:

- Câmaras em circuito fechado, que podem ser úteis para monitorizar o tráfego e operações existentes no terminal, de forma a assegurar que estas sejam executadas de forma mais eficiente;
- Sistemas de localização em tempo real, utilizados para identificar a localização exata dos contentores e guiar o camião que o vai carregar, diminuindo assim o congestionamento dentro do terminal (Maguire et al, 2010).

D. Terminal RO-RO

Outra medida que merece algum destaque, encontra-se direcionada para o terminal RO-RO, e consiste na criação de um sistema de atracação de navios automático auxiliado por robots equipados com sistemas de vácuo que puxam o navio para a zona de atracação de uma forma mais rápida, eliminado todo o equipamento necessário para o processo de atracação convencional, como as cordas e cabos e diminuindo assim as emissões de poluentes associados (Navamuel et al, 2018). Este sistema já foi implementado há bastante tempo na Nova Zelândia e estima-se que este sistema reduz em cerca de 97% as emissões de CO₂ provenientes dos navios durante o processo de atracação (Navamuel et al, 2018).

E. Estratégias Gerais

Em termos de medidas aplicadas aos navios a manobrar e atracados, existem algumas medidas que devem ser realçadas, sendo a primeira o "Shore Power", que se baseia no fornecimento de energia elétrica aos navios atracados a partir do sistema elétrico do porto, reduzindo assim por completo as emissões destes navios. Esta é uma medida que já se encontra implementada em alguns portos europeus e americanos, como por exemplo o Porto de Long Beach e Porto de Oslo (Han et al, 2010). Para que esta medida fosse implementada no Porto de Leixões seria necessário um investimento de construção de infraestruturas que estivessem preparadas para fornecer energia elétrica aos navios atracados no porto, sendo que existem diversas fontes de energia disponíveis para que o "Shore Power" seja implementado. A primeira opção consiste em construir infraestruturas fixas ligadas à rede de distribuição nacional, para as quais é necessária uma alta voltagem. Uma vantagem deste tipo de utilização do "Shore Power" é o baixo custo de manutenção de todos os equipamentos envolvidos. É preciso, para isso, ter em conta que esta fonte

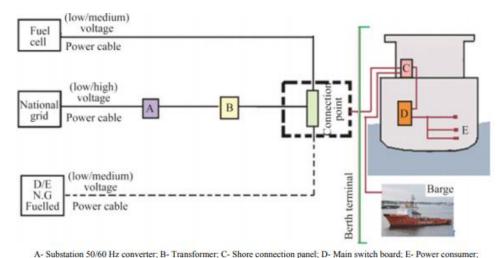
de energia pode acarretar alguns custos nomeadamente da eletricidade e o fato de que nem todos os portos têm as infraestruturas necessárias para que este tipo de fonte de energia seja aplicado.

Outra opção de fonte energia é a aplicação de células de combustível que, através de reações eletroquímicas, conseguem fornecer energia enquanto o navio se encontra atracado, fazendo com que as emissões de gases de exaustão sejam bastante baixas. Esta opção tem vindo a ganhar algum interesse, uma vez que pode ser aplicada em várias zonas do porto (sendo uma opção bastante viável para portos que tenham problemas de espaço) e, ainda, por se tratar de uma forma de fornecimento de energia com um custo-benefício ótimo e eficiência alta. A escolha da célula de combustível ideal para este tipo de aplicação requer alguns critérios como o tipo de combustível, a eficiência e a capacidade energética, sendo que existem dois tipos de combustível disponíveis: o hidrogénio puro e os hidrocarbonetos, como o gás natural e o gasóleo. De forma a melhorar esta opção surgiu um novo tipo de fornecimento de energia que consiste na aplicação de geradores que utilizam dois tipos de combustível para gerar energia com infraestruturas de baixo custo. Esta seria uma melhor opção, pois é possível utilizar um maior número de geradores com combustíveis alternativos, como por exemplo o gás natural ou gás natural comprimido (GNC).

Por fim, existe ainda a opção de colocar uma embarcação de fornecimento de energia equipada com várias células de distribuição de energia que poderia cobrir várias partes do porto. Esta opção pode ser benéfica para portos que possuam alguma dificuldade no fornecimento de energia elétrica, mas possui um enorme entrave devido aos altos custos de investimento (Siddiek et al, 2013).

O "Shore Power" é uma medida que deve ter uma atenção especial aquando a sua implementação, uma vez que pode ser executada nos diversos terminais do Porto de Leixões. Segundo um estudo realizado no Porto de Oslo foi estimado que através da utilização deste tipo de fornecimento de energia aos navios enquanto atracados, aliado à criação de zonas de redução de velocidade dos navios dentro do porto, resultava numa redução de emissões de NO_x na ordem dos 15% (Aparício et al, 2017).

A Figura 12 mostra todas as formas possíveis de fornecer energia ao navio a partir do porto descritas anteriormente.



A Substation 5000 ftz converter, B Transformer, C Shore connection paner, D Main Switch board, E Fower consumer,

Figura 12: Fontes de energia possíveis para a implementação do "Shore Power". (Siddiek et al, 2013).

A redução da velocidade dos navios dentro do porto marítimo é ainda uma estratégia a considerar, uma vez que com esta redução de velocidade diminui a carga exercida no motor principal do navio, conseguindo-se assim uma redução na ordem dos 4% a 8% na produção de NO_x (Han, 2010).

O investimento por parte da APDL em infraestruturas que possibilitem o fornecimento de combustíveis alternativos é outra medida bastante importante a ser considerada, pois com essa alteração seria possível diminuir bastante a quantidade de emissão de gases poluentes, uma vez que os maiores emissores dentro da área portuária são os navios. Como tipo de combustível alternativo a ser utilizado, poderia ser utilizado Gás Natural Liquefeito (GNL), que possui inúmeras vantagens em relação aos combustíveis normalmente utilizados para o transporte marítimo, em particular na redução de emissões atmosféricas. De salientar que estas infraestruturas e o uso de combustíveis alternativos, não devem estar apenas restringidas aos navios de grande porte, mas também devem ser pensadas para as pequenas embarcações de pesca e reboques, que através do combustível que utilizam, nomeadamente o gasóleo colorido, contribuem bastante para a poluição e degradação da qualidade do ar na área portuária. Assim, é necessário encontrar soluções viáveis para conseguir mudar o tipo de combustível que estas pequenas embarcações utilizam, podendo passar pelo próprio GNL, sendo que o uso deste tipo de combustível nestas pequenas embarcações pode diminuir as emissões de NO_x e CO₂ até 23% e 17% respetivamente (Aparício et al, 2017).

Por fim, um tipo de navios existente em todos os portos marítimos comerciais, são navios de reboque que possuem a função de guiar os navios de mercadoria até ao terminal onde este irá ser atracado ou abastecer navios próximos da entrada do porto. Assim, para estes navios, uma medida a aplicar seria a colocação de contentores de energia elétrica para servir de combustível, diminuindo assim as emissões associadas as estes. De salientar que esta medida apenas se pode

implementar neste tipo de navios, dada a limitação deste tipo de baterias para viagens de curta distância (NABU, 2015).

Relativamente ao equipamento necessário para auxiliar nas várias operações portuárias, como gruas e tratores, estes utilizam todos motores a diesel, constituindo um problema em termos de poluição do ar, sendo que existem formas para que os impactes causados por estes sejam minimizados. Uma das formas para reduzir estas emissões passa pela utilização de um sistema de motores híbridos que permitem a que o motor a diesel trabalhe a uma rotação constante, diminuindo assim as emissões e contribuindo ainda para a diminuição de custos de combustível e de manutenção (Nabu, 2015).

A injeção de hidrogénio nos motores a *diesel* dos equipamentos do porto é outra medida a ter em conta devido ao seu contributo na redução das emissões dos principais gases de combustão. Segundo um estudo intitulado *Clean Air in Ports*, foi demonstrado que este tipo de tecnologia diminuiu as emissões de NO_x em 19% e de PM em 85% (NABU,2015).

3.5 Questionário de avaliação das medidas

Tal como referido na metodologia, a fase 3 compreendeu a elaboração de um questionário para que fosse possível avaliar de forma qualitativa as medidas propostas a implementar no Porto de Leixões.

De forma a atingir o objetivo proposto, foram definidos quais seriam os parâmetros de avaliação a utilizar, bem como a escala de avaliação a implementar. Os parâmetros de avaliação selecionados foram:

- Dificuldade de Implementação,
- Custos (onde se encontram englobados os custos de investimento e os custos operacionais), custos estes que representam toda a logística necessária para a que a medida seja implementada e executada com sucesso e ainda os custos de manutenção, principalmente dos equipamentos utilizados, caso sejam necessários para a realização da medida.
- Eficácia, parâmetro este que pretende avaliar qual o contributo da medida em questão para resolver o problema relato e melhorar a qualidade do ar no terminal onde este se encontra.

Para auxiliar na avaliação, e como já mencionado, foi definida uma escala qualitativa de avaliação de cada parâmetro, considerando 3 níveis: Baixo, Razoável e Elevado.

De salientar que, durante a construção deste questionário, foram identificadas e incluídas algumas medidas que já se encontravam implementadas no Porto de Leixões, bem como algumas sugestões do próprio porto. A maioria das medidas apresentadas no questionário tenta de alguma

forma trazer algo de inovador para o porto, sendo outras medidas propostas pela regulamentação das entidades internacionais. O questionário completo encontrar-se-á em anexo.

O questionário encontra-se estruturado da seguinte forma:

- 1. Identificação do inquirido (Função na APDL ou Concessionário);
- 2. Lista de seleção do terminal (ais) de interesse, onde cada terminal possui uma página individual, onde se encontram todas as medidas estruturais e boas práticas que se sugere implementar.

A Figura 13 apresenta a interface do questionário mostrando a página de rosto do mesmo e ainda um exemplo de uma página onde constam medidas a implementar, que no caso do exemplo trata-se do terminal de contentores.



Figura 13: Interface do questionário realizado, página de rosto (esquerda) e exemplo de página de medidas (direita).

Inicialmente, o questionário foi testado e validado pelo grupo do projeto, o que resultou num total de quatro respostas. Após a obtenção das respostas do grupo de projeto, o questionário foi enviado para a administração do Porto de Leixões, para que este pudesse ser divulgado entre todas as entidades responsáveis pelo porto.

Para avaliar as respostas obtidas no questionário foi utilizado um sistema de atribuição de cotação às medidas mitigadoras, dependendo da escala da resposta por cada parâmetro. Assim, cada parâmetro que obtivesse uma resposta "baixo" foi atribuído 1 ponto, "razoável" 2 pontos e "elevado" 3 pontos, sendo que no final todas as cotações obtidas eram somadas obtendo-se assim um valor para a medida em questão. Como resultado destas cotações, as medidas que obtivessem uma cotação mais elevada seriam aquelas que teriam preferência para serem implementadas. Apesar do esforço desenvolvido na preparação do questionário e no empenho em envolver as autoridades que atuam no Porto de Leixões, não foi possível obter quaisquer respostas até à data.

Posto isto, irão ser apresentadas um conjunto das melhores estratégias mitigadoras a implementar, tendo por base as informações apresentadas na seção 3.3.

3.6 Seleção das medidas mitigadoras

A. Cais de Carga Geral e Granéis Sólidos

Para o Cais de Carga Geral e Granéis Sólidos, as medidas a implementar seriam primeiramente a instalação de uma manga de vento e possuir uma previsão meteorológica de forma local, sendo que estas duas medidas iriam auxiliar bastante os operadores desse terminal a selecionarem os melhores métodos de atuação no que toca ao manuseamento do material a granel.

Continuando neste terminal, outras medidas que seriam importantes implementar passariam pela alteração dos processos de descarga do material proveniente do navio para a zona de armazenamento do terminal. Deste modo, para a Doca 2 Sul a instalação de bandas transportadoras, sendo esta uma medida que poderia ainda ser implementada na zona de descarga das Instalações Especializadas (Doca 4 Norte) e para a Doca 2 Norte movimentar a carga de forma acondicionada através de sacos ou caixas. Estas medidas trariam inúmeros benefícios, principalmente na diminuição das emissões fugitivas. No entanto, e como já referido na seção 3.3 estas são medidas que a nível financeiro acarretam alguns entraves. Ainda relativamente à diminuição das emissões fugitivas nestes terminais, existe outra medida escolhida para ser implementada, que passa pela construção de infraestruturas de cobertura dos granéis armazenados. Neste campo, deve-se ainda ter em conta medidas como a definição da dimensão e distancia máxima e ainda a localização ideal da pilha de estilha existente na Doca 2 Sul se encontra da barreira protetora, que embora esta já se encontre em implementação no Porto de Leixões deve ser reajustada, uma vez que verifica-se que esta medida não se encontra a ser eficaz na prevenção das emissões fugitivas e ainda implementar zonas de lavagem das rodas e laterais dos camiões que entram e saem do terminal. Com esta medida seria possível minimizar a ocorrência de ressuspensão de partículas dentro do terminal e ainda não permitiria que existisse a emissão de material a granel fora do terminal e do porto através da movimentação dos camiões, minimizando a exposição da população envolvente a este material particulado.

B. Terminal de Contentores Sul

Passando para o Terminal de Contentores Sul, as medidas escolhidas para serem implementadas são: a criação de um sistema de marcação de horário para a chegada de camiões ao terminal para efetuarem as operações de carga e descarga no terminal que, como foi documentado anteriormente, esta é uma medida que apesar de apresentar alguns problemas especialmente na fase de implementação, uma vez que requer alguns estudos sobre a

movimentação de camiões nesse local de modo a definir-se qual o melhor horário a implementar. Uma medida que pode associar-se a esta para se conseguir melhorar os problemas de congestionamento no terminal é a utilização de tecnologias de automação. Outra medida que deve possuir alguma prioridade para ser implementada é a proibição da entrada no terminal de camiões "mais poluidores", ou seja, apenas permitir a entrada de camiões que estejam no EURO V e VI. De modo a complementar a medida selecionada anteriormente, a subcontratação de camiões que utilizassem combustíveis alternativos poderia ser uma opção para reduzir a quantidade de poluentes atmosféricos emitidos neste local. Porém esta é uma medida difícil de implementar, uma vez que a grande parte dos camiões que circulam são na grande maioria movidos a *diesel*. Por fim, a criação de um zona de espera para os camiões enquanto se encontram dentro terminal seria bastante benéfica, uma vez que assim os camiões não ficariam parados nas zonas onde se encontram aglomerados os contentores, não permitindo assim que exista uma aglomeração de poluentes atmosféricos nesses locais.

C. Terminal de Cruzeiros

Para o Terminal de Cruzeiros, que para além de receber os passageiros provenientes dos cruzeiros é ainda um local de visita por parte da população. Assim, seria interessante realizar uma monitorização da qualidade do ar neste local, de forma a conseguir-se compreender quais os níveis dos diferentes poluentes atmosféricos e se representam algum risco para a saúde de todas as pessoas envolvidas nessa área. Para se efetuar essa monitorização da qualidade do ar, esta poderia ser realizada com recurso a sensores.

D. Terminal RO-RO

Terminando as medidas especificas para cada terminal, tem-se o Terminal RO-RO, onde se deve então implementar um sistema automático de atracação, que como já referenciado auxilia de uma forma bastante expressiva na diminuição das emissões de CO₂.

E. Medidas Gerais

No que diz respeito a medidas que podem ser implementadas, na grande maioria dos terminais do Porto de Leixões, o investimento por parte da administração do porto em infraestruturas para que seja possível fornecer combustíveis alternativos e em infraestruturas para a utilização do "Shore Power", seriam duas das medidas apresentadas que deveriam ter uma prioridade sobre as restantes devido à sua versatilidade quanto ao número de terminais que podem atingir, bem como os benefícios que apresentam. No entanto, é necessário compreender que estas

medidas podem trazer algumas complicações principalmente ao nível financeiro, sendo necessário um grande esforço financeiro para que estas sejam implementadas e ainda ao nível de implementação, principalmente para o "Shore Power", sendo necessário definir-se qual o melhor tipo de fornecimento de energia ao navio que deve ser adotado. No que diz respeito ao uso de combustíveis alternativos, uma das formas de promover essa utilização passaria pela utilização de contentores de baterias nos navios reboque, sendo que esta pequena mudança já traria uma diminuição significativa nas emissões de poluentes atmosféricos na área do porto.

Outras medidas que devem ser implementadas, a um nível geral, seria a utilização de equipamentos que utilizassem outro tipo de combustíveis, como por exemplo a utilização de equipamentos elétricos ou então utilizar a técnica de injeção de hidrogénio nos equipamentos equipados com motor a *diesel*. Esta medidas também devem ter um cariz prioritário, uma vez que em quase todos os terminais estes equipamentos (gruas, tratores, etc) são utilizados para manusear as mercadorias que tanto chegam como saem do terminal.

Por fim, uma medida que se deve ter em conta para implementação a curto prazo é a criação de zonas de velocidade reduzida para navios a circular dentro do porto, devido às vantagens que traria, não só a nível de redução de emissões, bem como na redução da quantidade de combustível utilizado esta seria uma medida fácil de implementar sem apresentar grandes custos.

4. Estratégias/Linhas orientadoras à escala nacional

Neste capítulo é apresentado o trabalho desenvolvido para a escala nacional com o objetivo de identificar as estratégias e medidas a serem implementadas para o transporte marítimo em Portugal. Este capítulo encontra-se estruturado em 2 secções principais: inicialmente é realizado um enquadramento sobre o transporte marítimo em Portugal percebendo quais são os principais tipos de navios que navegam pela zona marítima portuguesa e de que forma as suas emissões influenciam a concentração dos principais poluentes atmosféricos (4.1) e seguidamente, são abordadas medidas/estratégias mitigadoras para minimizar as emissões destes poluentes, mostrando as melhores opções para cada tipo de poluente, com vista a mitigar as emissões deste setor e reduzir o seu impacto na qualidade do ar em Portugal (4.2).

4.1 Transporte Marítimo em Portugal

De forma a definir as melhores medidas/estratégias mitigadoras a aplicar para reduzir as emissões do transporte marítimo em Portugal, é necessário compreender os principais tipos de navios que circulam no espaço marítimo português e qual a contribuição das emissões provenientes desses navios na quantidade total de poluentes atmosféricos emitidos.

Como já mencionado anteriormente, o espaço marítimo português é cruzado por duas rotas marítimas distintas, a rota Este-Oeste e Norte-Sul, onde se tem verificado um aumento do tráfego de navios de carga contentorizada (AdC, 2015).

A Figura 14 mostra as duas rotas marítimas comerciais existentes espalhadas pelo mundo e os locais onde estas se cruzam.

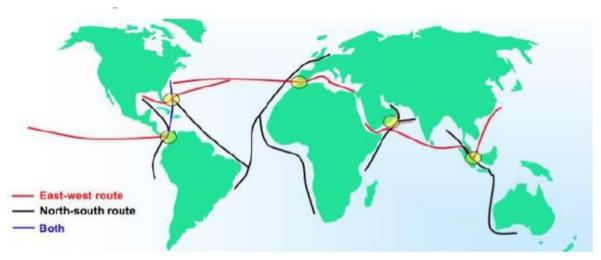


Figura 14: Principais rotas marítimas (ADC, 2015).

A identificação da principal rota marítima que atravessa o espaço marítimo português é uma informação importante, pois permite que sejam identificados os principais tipos de navios que navegam na costa portuguesa, sendo estes os navios de contentores tornando-os por consequência os maiores emissores de poluentes atmosféricos em Portugal no que diz respeito ao transporte marítimo internacional (Nunes et al, 2017).

O estudo realizado pela Autoridade da Mobilidade e dos Transportes sobre o mercado portuário em Portugal, mostra que o transporte marítimo foi o segundo tipo de transporte mais utilizado para movimentar mercadorias em Portugal, o que demonstra a importância deste setor económico em Portugal, bem como a importância de se estudar e compreender qual é a sua contribuição para as emissões de poluentes na atmosfera e quais os seus impactes na qualidade do ar em Portugal.

Recentemente, surgiu um estudo que procurou avaliar qual o impacto que as emissões provenientes do transporte marítimo possuem na qualidade do ar em Portugal, abordando ainda o domínio Europeu (Russo et al, 2018). Para esse efeito, foi utilizada uma abordagem de modelação numérica em conjunto com um inventário de emissões europeu, onde a contribuição do transporte marítimo nas emissões totais dos principais poluentes atmosféricos (SO_x, NO_x e PM10) para a Europa e para Portugal, encontra-se apresentada na Figura 15.

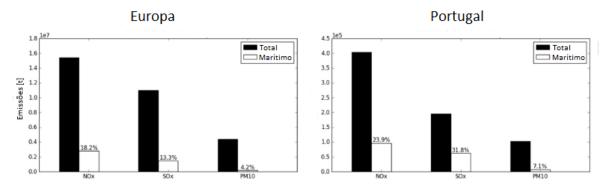


Figura 15: Contribuição do transporte marítimo nas emissões de poluentes atmosféricos na Europa e Portugal (Russo et al,2018).

Analisando a figura anterior, constata-se que o transporte marítimo possui algum relevo tendo em conta a quantidade total destes poluentes, sendo que essa contribuição é maior em Portugal do que na Europa, o que é expectável dada a extensão costeira do país e da sua importância na economia portuguesa e ainda devido à existência de áreas de controlo de emissões espalhadas pelo norte da Europa (Russo et al, 2018). De realçar a contribuição deste meio de transporte para a quantidade total de emissões de SO_x para Portugal que se encontra na ordem dos 32%, sendo PM10 o poluente com menor contribuição.

Neste mesmo estudo foi analisada a contribuição das emissões do transporte marítimo nas concentrações de NO_2 , $PM10 e O_3$. Isto foi realizado com recurso à modelação numérica, simulando 2 cenários diferentes: o primeiro sem incluir as emissões do transporte marítimo e o segundo com essas emissões incluídas (Russo et al, 2018).

Na Figura 16, apresentam-se alguns dos resultados encontrados, relativamente às diferenças obtidas nas simulações dos 2 cenários, e que permitem estimar a contribuição das emissões do transporte marítimo na qualidade do ar, relativamente aos 3 poluentes mais críticos (NO_x , $PM10 e O_3$).

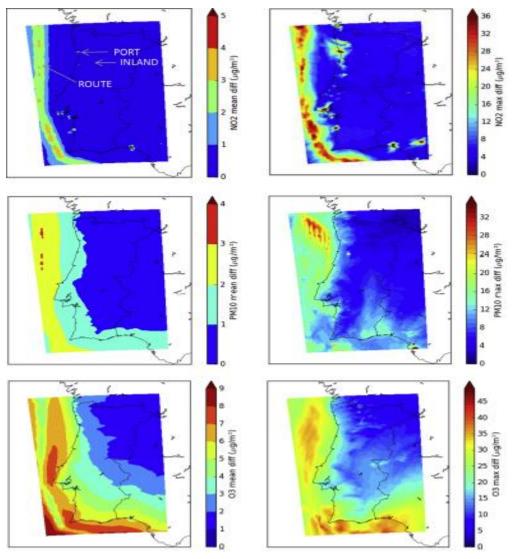


Figura 16: Contribuição do transporte marítimo na concentração de NO₂, PM10 e O₃ (Russo et al, 2018).

Observando e analisando a figura acima apresentada, é possível verificar que o poluente que mais contribui para degradação da qualidade do ar em Portugal é o NO₂, especialmente nas zonas das rotas marítimas internacionais onde a concentração deste poluente pode chegar a

valores superiores a $30 \,\mu\text{g/m}^3$ e ainda nas zonas portuárias, sendo que neste caso existem ainda as emissões provenientes do tráfego rodoviário associado à atividade portuária (e não só). Relativamente a PM10, verifica-se um comportamento semelhante ao NO_2 , com contribuição/impacto apenas junto às rotas e com alcance apenas até à zona costeira.

Analisando as concentrações de O_3 é possível observar que o impacto é máximo junto às rotas marítimas, com os picos dessas concentrações a registarem-se nos meses de verão, uma vez que o ozono é um poluente fotoquímico que se forma através da radiação e da temperatura a partir de outros gases como por exemplo o NO_2 . A contribuição do transporte marítimo para a formação deste poluente é apenas de 2%, mas em termos espaciais o seu impacto pode chegar a áreas mais interiores do continente (Russo et al, 2018).

4.2 Medidas/ Estratégias Mitigadoras

Como já mencionado ao longo deste trabalho, o setor marítimo tem vindo a sofrer algumas alterações a nível regulamentar, onde se verifica a introdução de estratégias mitigadoras para reduzir a quantidade de poluentes atmosféricos emitidos (Halff et al, 2019). Estas estratégias, impostas mais concretamente pela IMO prendem-se sobretudo ao nível dos combustíveis marinhos com baixo teor de enxofre na sua composição e ainda estratégias que melhorem a eficiência energética dos navios, como por exemplo o seu *design* ou a potência do motor de acordo com o seu consumo de combustível (Sardinha, 2013).

Existe ainda uma vasta quantidade de medidas/estratégias mitigadoras a serem implementadas especificamente a navios, estando estas divididas em "medidas organizacionais", "técnicas operacionais" para reduzir as emissões de um poluente em específico, "melhoria da eficiência energética" e ainda o "uso de combustíveis alternativos".

As medidas abaixo apresentadas, encontram-se distribuídas com a nomenclatura mencionada no parágrafo anterior.

4.2.1 Medidas Organizacionais/ Slow Steaming

Relativamente às técnicas organizacionais existentes, a mais comum é o "Slow Steaming": técnica que consiste na redução da velocidade dos navios enquanto estes estão em operação. Esta é uma técnica bastante utilizada pelas empresas de navios, principalmente navios de carga contentorizada, sendo que o "Slow Steaming" representa uma ajuda importante para as empresas no que diz respeito à diminuição do consumo de combustível e ainda à sua pegada ecológica de carbono (Marine Insight, 2012).

Os principais benefícios desta técnica incluem:

• Menor consumo de combustível;

- Redução das emissões de NO_x, SO_x e CO₂, uma vez que com uma redução de cerca de 10% da velocidade do navio é possível reduzir até 15% as emissões totais provenientes do navio (Cariou, 2010);
- Maior eficiência do navio;
- Melhoria na segurança.

Existem três formas de se aplicar o "Slow Steaming", dependendo do tipo de motor que o navio utiliza, sendo importante referir que estas formas devem ser apenas aplicadas no caso dos motores convencionais. Tendo em conta esta informação, a primeira maneira de se aplicar esta técnica é através da redução das rotações por minuto do motor com o auxílio de uma caldeira auxiliar, estando o soprador auxiliar desligado, onde o consumo de vapor é tratado pela caldeira de exaustão após otimizar o uso desse mesmo vapor. A segunda forma de se implementar esta redução de rotações por minuto do motor principal, consiste em utilizar uma caldeira auxiliar em funcionamento intermitente com o soprador auxiliar desligado, onde o consumo de vapor é assegurado maioritariamente pela caldeira de exaustão e ainda pela caldeira a óleo, quando esta se encontra em funcionamento (Marine Insight, 2012).

Por fim, a última opção passa por reduzir as rotações do motor por minuto utilizando, para esse efeito, uma caldeira auxiliar em funcionamento constante com o soprador em funcionamento. Esta forma de implementação do "Slow Steaming", compreende a diminuição das temperaturas de combustão, o consumo de vapor é assegurado pela caldeira a óleo em funcionamento constante (Marine Insight, 2012).

Como já referido, esta técnica é bastante utilizada pelas empresas de navios que transportam carga contentorizada, sendo particularmente interessante para o caso do transporte marítimo português. A maior companhia do mundo Maersk utiliza o *slow steaming* de forma satisfatória desde 2007, conseguindo atingir uma redução de carga do motor sem danos técnicos de cerca de 35%, o que permite reduzir bastante a quantidade de emissões de poluentes atmosféricos, principalmente as emissões de dióxido de carbono, sendo esta a estratégia que apresenta um melhor custo-benefício (Corbbet et al, 2009). Existem outras técnicas associadas ao *slow steaming*, nomeadamente o *super slow steaming* onde se pretende diminuir ainda mais a potência do motor do navio até à marca dos 90% (Sardinha, 2013).

4.2.2. Uso de Combustíveis alternativos

Outra estratégia que pode ser utilizada para diminuir as emissões no geral é a utilização de combustíveis alternativos, de modo a reduzir/limitar o uso dos combustíveis mais tradicionais no transporte marítimo. Neste setor, a grande maioria dos motores instalados nos navios são movidos a *diesel*, sendo que estes são classificados de acordo com a velocidade de operação. Os

combustíveis utilizados podem ser divididos em cinco categorias, dependendo da sua composição de mistura e viscosidade, designadamente:

- Gasóleo Marinho (GM), que apresenta uma grande semelhança ao gasóleo utilizado nos veículos rodoviários;
- Diesel Marítimo (DM), que consiste numa mistura do gasóleo marinho com o óleo combustível pesado (OCP), que permite que este possua uma baixa viscosidade e não necessite de um pré-aquecimento;
- Óleo Combustível Intermédio (OCI), que consiste numa mistura residual entre o óleo combustível pesado e o gasóleo marítimo, sendo por isso bastante semelhante ao diesel marinho;
- Óleo Combustível Marítimo (OCM), que possui a mesma mistura que os últimos dois tipos de combustível apresentados, uma vez que este difere apenas na quantidade de gasóleo presente;
- Óleo Combustível Pesado (OCP), o tipo de combustível mais utilizado no setor marítimo com motores a baixa velocidade e apresenta um elevado grau de viscosidade e requer um pré-aquecimento antes de ser utilizado, uma vez que este é um óleo residual (Noor et al, 2018).

Umas das opções mais faladas e discutidas para o uso de combustível alternativo é o gás natural liquefeito, com um maior número de estudos, devido sobretudo às inúmeras vantagens que traz para a redução das emissões atmosféricas. Esta alternativa permite que as emissões de SOx e PM sejam reduzidas até 99%, NO_x até 80% e CO₂ até 20%, dependendo estes valores do tipo de navio em causa (NABU, 2015). No entanto, existem alguns fatores que levantam questões sobre a utilização desse tipo de combustível, nomeadamente no que diz respeito ao aumento das emissões de metano para a atmosfera como consequência da utilização deste combustível. A emissão deste gás com efeito estufa para atmosfera traz inúmeros problemas, sendo que a longo prazo os impactes da emissão do metano podem ultrapassar os impactes causados pelo dióxido de carbono (NABU, 2015). O segundo fator negativo sobre este combustível alternativo, é a necessidade energética que este requer para o seu armazenamento e transporte, uma vez que para ser possível tornar e manter o gás natural no seu estado líquido é necessário que este esteja a uma temperatura muito baixa, cerca de -162 °C, o que requer um elevado esforço energético adicional para que seja possível atingir esse efeito. Apesar disso, o gás natural liquefeito tem sido nos últimos tempos a alternativa mais aceitada e usada, existindo já navios de contentores a utilizar este tipo de combustível desde de 2015 (NABU, 2015).

Na Figura 17 apresenta-se um caso de estudo para as regiões da China e Taiwan, onde é possível verificar a diminuição da quantidade de poluentes atmosféricos, tanto gases de efeito estufa como gases de exaustão estimada com a utilização do gás natural liquefeito em comparação com o óleo combustível pesado, dividindo em dois grupos todos os tipos de navios de mercadorias existentes. O primeiro grupo (Feeder A) apenas incluía os navios de contentores, enquanto o segundo grupo (Feeder B) incluía todos os navios de mercadorias e ainda navios de passageiros.

Foram ainda criados vários cenários para o abastecimento dos navios, dependo do tipo de combustível utilizado. No caso de navios movidos a óleo combustível pesado, estes poderiam abastecer nos portos de Taiwan (Keelung) e China (Shangai), cenários A1 e A2, no caso dos navios pertencentes ao Feeder A, e nos portos de Taiwan (Keelung) e China (Xiamen), cenários B1 e B2, no caso dos navios pertences ao Feeder B.

Para o abastecimento de GNL, este apenas realiza-se na China, mais concretamente no porto de Shangai e Sichuan (cenário A3 e A4, respetivamente) e Xiamen (cenário B3) (Hua et al, 2017).

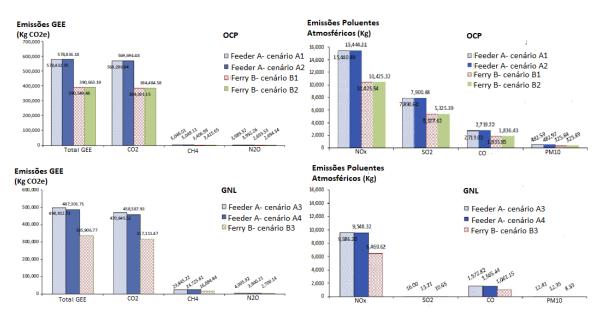


Figura 17: Comparação das emissões totais usando OCP (cima) e GNL (baixo) (Hua et al,2017).

Outro tipo de combustível alternativo que pode ser utilizado é o metanol, cuja utilização como combustível marinho, permitiu segundo alguns estudos já realizados reduzir as emissões SO_2 em 99%, NO_x em 60%, material particulado em 95% e CO_2 em 25%, comparativamente aos combustíveis marinhos mais utilizados (NABU, 2015). Contudo, o metanol não permite substituir de forma direta os combustíveis de origem fóssil, especialmente devido ao fato das altas

temperaturas que são necessárias para a sua autoignição, existindo apenas duas formas de o utilizar nos motores a *diesel*. A primeira, passa pela pré-mistura do metanol com o combustível marinho, onde se deve ter em consideração a fase de separação dos álcoois e a segunda é a injeção do metanol separadamente ao combustível marinho, existindo dois métodos possíveis para que este seja realizado (Deniz e Zincir, 2016).

Existem ainda mais opções para combustíveis alternativos, para além das apresentadas acima, como é o caso do hidrogénio, que para além de ser um gás renovável, possui inúmeras vantagens principalmente na redução dos principais poluentes atmosféricos, pois a sua exaustão é limpa, produto de uma combustão completa. No entanto, a temperatura necessária para que esta combustão seja realizada é muito alta tornando-a assim insustentável. Existem algumas soluções para este problema que passam por armazenar o hidrogénio na forma comprimida ou líquida. Porém, e como já foi descrito para o caso do gás natural líquido, esta solução acarreta outros requisitos e desvantagens nomeadamente a nível energético. Outra razão, que faz com o hidrogénio não seja uma solução viável é o fato de este não puder ser utilizado como combustível principal, sendo que a melhor forma de o utilizar é misturada com o diesel marinho através da sua injeção no motor, tal como no caso do metanol (Deniz e Zincir, 2016).

Outra forma de se utilizar o hidrogénio como combustível alternativo, é através do dimensionamento de células geradoras de energia que, em combinação com oxigénio fazem com que haja energia de propulsão. Este método emite apenas calor e vapor de água, sendo por isso um método com zero emissões de poluentes atmosféricos. Trata-se de um método já utilizado em navios de passageiros, não existindo para já registos da utilização deste tipo de energia para navios de mercadorias (NABU, 2015).

De salientar ainda, que a diminuição de NO_x depende sobretudo de diversos fatores ligados ao motor, onde para ocorrer uma emissão bastante reduzida deste poluente a combustão existente neste deve ser limpa, ou seja completa (Deniz e Zincir, 2016).

Na Tabela 7 encontram-se sumariadas todas as contribuições para reduzir as emissões dos três tipos de combustíveis alternativos acima apresentados e ainda um novo denominado como biodiesel, onde a cor verde representa uma redução da emissão desse poluente e o vermelho traduz um aumento dessas emissões.

Tabela 7: Tipo de combustíveis alternativos e a sua contribuição na redução das emissões (Deniz and Zincir, 2016).

	Tipo de Combustível				
	Metanol	GNL	Hidrogénio	Biodiesel	
Emissões de CO ₂					
Emissões de NO _x					
Emissões de SO _x					
Emissões de CO					
Emissões de PM					

Mais recentemente surgiu um novo tipo de combustível alternativo, mais concretamente o biodiesel, que consiste em esteres monoalcalinos de cadeia longa provenientes de fontes de gordura renováveis como o óleo vegetal ou animal. Existem diversos tipos de biodiesel que diferem na percentagem de biodiesel que estes possuem como é o caso do B80 que é uma mistura de biodiesel com *diesel* proveniente do petróleo, tendo uma concentração de biodiesel de 80% (Noor et al, 2018).

Este tipo de combustível possui diversas vantagens relativamente aos combustíveis normalmente utilizados, uma vez que este é renovável e fácil de utilizar, pois pode ser utilizado em todos os motores a *diesel* ou em misturas de combustível, sem ser necessário efetuar qualquer alteração ao motor. Uma das vantagens mais expressivas associadas ao biodiesel é o fato deste conseguir reduzir gases perigosos, mais propriamente gases com efeito estufa em 78%, sendo também um combustível biodegradável e não tóxico, levando a uma menor dependência do uso dos combustíveis fósseis (Noor et al, 2018).

Contudo, e tal como os restantes combustíveis alternativos, existem algumas limitações associadas, sendo a principal o aumento das emissões de NO_x em pelo menos mais 10% relativamente à utilização dos combustíveis tradicionais (Noor et al, 2018). Na Figura 18, é possível constatar que quanto maior for a teor em percentagem de biodiesel presente maior é a emissão de NOx (relativamente aos restantes gases poluentes possuem um comportamento contrário). Este é um aspeto a ter em conta, pois os óxidos de azoto estão abrangidos pela regulamentação imposta pela IMO, através de limites para que este seja reduzido e ainda por ser um dos maiores precursores da formação de ozono. Nesta figura não se encontra descrito o comportamento em relação ao SO_x, mas este segue o comportamento dos restantes poluentes, ou seja, existe uma redução da emissão deste poluente, pois como usualmente são utilizadas fontes vegetais para formar-se o biodiesel, estas não possuem teores elevados de enxofre, o que leva a que as emissões de SO_x sejam baixas. Existem ainda mais algumas limitações ao uso do biodiesel, nomeadamente o alto custo em relação ao *diesel* proveniente do petróleo e a maior viscosidade e densidade deste tipo de combustível que pode representar alguns problemas nomeadamente no sistema de injeção de combustível (Noor et al, 2018).

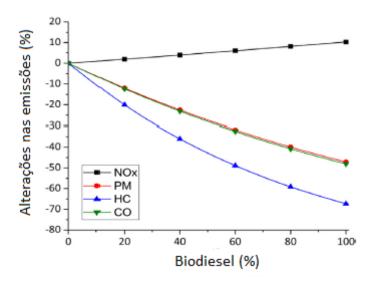


Figura 18: Relação entre o teor de biodiesel e as emissões associadas (Noor et al, 2018).

Tendo em conta todas as opções de combustíveis alternativos apresentados, é possível observar que a melhor opção poderia passar pela utilização do gás natural liquefeito, devido à sua contribuição para diminuir as emissões provenientes pelo transporte marítimo e, pelo fato do hidrogénio não poder ser utilizado como combustível principal.

Existem, no entanto, outras formas de substituir a utilização de combustíveis fósseis que passam pela alteração do tipo de motor e fonte de energia a ser utilizada. Uma das formas é a implementação de motores híbridos nos navios, onde com a utilização de um motor elétrico para se conseguir gerar energia e recarregar as baterias, o motor principal movido a diesel pode ter dimensões mais pequenas, possibilitando que este funcione a um número de rotações constantes diminuindo as emissões e ainda o consumo de combustível. A instalação destes motores híbridos tem sido apenas limitados aos navios mais pequenos, como ferrys, sendo necessário fazer estudos para se ter um melhor conhecimento das possíveis vantagens que este tipo de motor poderia ter nos grandes navios de mercadorias, com principal foco nos navios de contentores (NABU, 2015).

4.2.3 Melhoria da Eficiência energética

Outra forma de se reduzir as emissões associadas ao transporte marítimo, passa pelo melhoramento da eficiência energética do navio, que pode ser realizada de diversas formas. Uma dessas formas, é a gestão de conservação de energia do navio, potenciando a sua eficiência energética através, por exemplo da aplicação de um sistema de recuperação de calor que utiliza os gases de exaustão para operar uma unidade de adsorção de ar (Seddiek e Elgohary, 2014).

4.2.4 Técnicas Operacionais

Relativamente às técnicas operacionais específicas para cada tipo de poluente, no caso do NO_x existem diversas estratégias a utilizar para reduzir a emissão deste poluente atmosférico. Estas medidas passam sobretudo por alterações a realizar no motor do navio, como utilizar injetores de combustível com válvula deslizante em vez dos tradicionais, onde se torna possível a injeção de água no combustível a utilizar, diluindo-o e tornando-o um pouco mais limpo (Yang et al, 2012).

A medida mais consensual para diminuir as emissões dos óxidos de azotos devido à sua eficácia é a redução seletiva catalítica seletiva, que consiste num pós-tratamento que transforma as emissões de NO_x em NO₂ e água, eliminado assim as emissões de óxidos de azoto do gás de exaustão proveniente do navio (redução até 90%) (Han, 2010). Esta técnica consegue ser otimizada quando aliada à utilização a um filtro de partículas, que usualmente é utilizado para minimizar as emissões de material particulado e carbono negro, sendo que este equipamento consegue reduzir quase por completo estas emissões. Esta tecnologia, usualmente utiliza poros cerâmicos ou filtros metálicos de modo a captar o material particulado e removê-los do vapor de exaustão.

Por fim, outra medida que pode ser implementada para reduzir a emissão deste tipo de poluente atmosférico, consiste na recirculação dos gases de exaustão, permitindo assim uma diminuição das emissões de NO_x. No entanto, uma desvantagem deste tipo de tecnologia é a formação de grandes quantidades de material particulado, sendo, por isso, mais uma vez necessário a combinação desta técnica com a utilização de um filtro de partículas para se obter um melhor rendimento (NABU, 2015).

Na Tabela 8, encontram-se descritas algumas das tecnologias existentes para reduzir as emissões de óxidos de azoto, bem como as percentagens de redução de emissões estimadas que as mesmas possuem e a esperança de vida do equipamento.

Tabela 8: Medidas tecnológicas para reduzir as emissões de NO_x (Yang et al,2012).

Tecnologia	Redução de NO₂ (%)	Esperança de Vida (anos)
Modificações internas no motor	25	25
Injeção de água em contínuo	70	15
Emulsão de água	50	15
Injeção de água direta	50	25
Motor a ar húmido	70	15
Redução catalítica seletiva	95	15

Analisando a tabela acima apresentada, é possível observar que em termos de potencial para reduzir as emissões de óxido de azoto as melhores estratégias mitigadoras são a redução

catalítica seletiva, a injeção de água em contínuo e o motor a ar húmido com percentagens acima dos 70% apresentando, porém, uma esperança de vida mais baixa comparativamente às restantes estratégias apresentadas.

Outros gases de exaustão que possuem algumas estratégias específicas são os óxidos de enxofre, que como já visto ao longo da realização deste trabalho sempre atraíram uma atenção especial, sobretudo em termos de regulação, já que o transporte marítimo é um dos maiores emissores deste poluente atmosférico (Ren e Lutzen, 2017).

Relativamente ao SO_x, existem estratégias que possuem alguns estudos sobre a sua eficácia para diminuir a emissão de SOx, como a utilização de combustíveis com baixo teor de enxofre, que pode ser conseguido através de duas formas: a primeira consiste na utilização de combustível marinho residual com uma concentração de enxofre igual ou inferior a 1,5%, o que leva uma redução de 18% de SO_x e 80% de material particulado; e a segunda compreende a utilização de um combustível marinho destilado com um teor de enxofre igual ou inferior a 0,1%. Com esta segunda opção, a percentagem de redução de emissão de SO_x aumenta para os 90%, sendo que para o material particulado a percentagem de redução mantém-se nos 80% (Han, 2010).

A segunda estratégia mais comum consiste na implementação de um dispositivo de limpeza de gases de exaustão, denominado *Scrubber*. Estes dispositivos possuem a capacidade de reduzir as emissões de SO_2 entre os 70% e os 95 %, uma vez que conseguem também reduzir as emissões de PM e PM e PM (NABU, 2015). Existem diversas formas de se instalar esta tecnologia:

- *scrubbers* de circuito aberto que utilizam a água do oceano, despejando essa água diretamente no oceano após a realização do tratamento.
- scrubbers de circuito fechado, que em vez de utilizarem a água proveniente do oceano, utilizam uma mistura de água com soda cáustica.

Os *scrubbers* de circuito aberto possuem um grande problema com a libertação do produto final, que pode conter substâncias tóxicas como hidrocarbonetos e metais pesados que vão contaminar o ambiente marinho, sendo que esta é uma medida que se encontra em discussão internacional (NABU, 2015).

Existem ainda outras estratégias para reduzir este poluente, estando todas descritas na Tabela 9, onde são sumariadas todas as vantagens e desvantagens associadas a cada uma.

Tabela 9: Técnicas conhecidas para reduzir as emissões de SO_x e as suas vantagens e desvantagens (Yang et al, 2012).

Técnicas de redução de SO _x	Vantagens	Desvantagens
Método de mudança	Fácil aplicação para navios com dois tipos de tanques de armazenamento; Grande viabilidade para cumprir os requisitos da % de teor de enxofre baixos para novos navios	É necessário tempo para expulsar todo o enxofre do combustível; Demorado e caro para navios que apenas possuam um tanque de decantação.
Tanque segregado	Fácil operação; Flexibilidade e diminuição de custos quando utilizados tipos de combustível alternativos;	Alto custo e consumo de combustíveis com baixo teor de enxofre na composição; Requer uma alta capacidade para alojar um sistema de tanques.
Mudança do combustível a bordo	Fácil Instalação; Redução do teor de enxofre até 1,5%; Não requer um sistema de tanques.	Treino operacional extra; Requer inspeções frequentes para questões de segurança; Mais espaço para armazenar óleo diesel marítimo.
Sistema de limpeza de gases de exaustão	Redução de emissões de SO _x até 98%; Emissões mais limpas em comparação aos combustíveis destilados.	Alto custo de instalação; Produção de lamas tóxicas; Problemas relacionados com corrosão; Requerem um elevado volume

Analisando a tabela acima, a técnica preferencial é o tanque segregado que, apesar de apresentar um custo elevado para que este seja instalado, possui uma grande vantagem sobre as restantes estratégias, uma vez que permite a utilização de combustíveis alternativos o que pode leva a uma maior redução, não só do óxido de enxofre, mas também de todos os outros poluentes atmosféricos.

A possibilidade de se utilizar sistemas de limpeza de gases de exaustão (*Scrubber*) possui inúmeras vantagens em relação às outras medidas, pois com a utilização destes torna-se mais fácil atingir todos os limites impostos pela Organização Marítima Internacional (IMO). Contudo, é necessário encontrar soluções para tornar esta técnica uma solução mais sustentável, devido aos

problemas associados ao produto final que é produzido, bem como o local de despejo deste produto.

5. Conclusão

Os principais objetivos do presente trabalho passavam pela identificação e seleção de medidas/estratégias mitigadoras para diminuir a contribuição que tanto as atividades portuárias como o transporte marítimo apresentam na degradação da qualidade do ar, trabalhando para este fim em duas escalas distintas: à escala local e à escala nacional (Portugal).

Relativamente à escala local, o trabalho focou-se no caso de estudo no Porto de Leixões, onde os maiores problemas a nível de qualidade do ar, e que foram relatados pela administração do mesmo, incidiam nos Terminais de Carga Geral e Granéis Sólidos e no Terminal de Contentores Sul, uma vez que foram nestes dois terminais que existiram queixas por parte dos trabalhadores, bem como da população envolvente à área portuária, nomeadamente com a emissão de partículas fugitivas provenientes do material a granel. É importante realçar que foram ainda identificados possíveis problemas existentes nos restantes terminais do Porto de Leixões, tendo por base as atividades que se realizam nestes e ainda o tipo de mercadoria movimentado nesses locais.

Posto isto, foi possível identificar e sugerir um considerável número de estratégias mitigadoras de forma a conseguir-se atingir o objetivo proposto, que seria reduzir o impacte das emissões atmosféricas nessa área e por consequente melhorar a qualidade do ar da mesma. As estratégias identificadas foram divididas em "Boas práticas" e "Medidas estruturais", possuindo diversos universos de aplicação, uma vez que certas medidas apresentadas conseguem ser implementadas em diversos locais do porto de Leixões.

Para a avaliação e seleção das medidas/estratégias a aplicar, foi realizado um questionário online. Infelizmente, com vista à sua aplicação não foi possível conseguir-se essa mesma avaliação no tempo útil da realização deste trabalho. Assim, foram apresentadas todas as medidas baseadas nas informações recolhidas na literatura existente.

Para o Terminal de Carga Geral e Granéis Sólidos as medidas a implementar passariam pela alteração dos processos de descarga e transporte do material a granel. Para o material de estilha e sucata deveriam ser utilizadas bandas transportadoras e para o material de granito, deveria ser acondicionada em caixas ou sacos. Outra medida selecionada para este terminal, passa pela construção de infraestruturas que protejam o material armazenado em relação aos efeitos provenientes pela ação do vento.

Para o Terminal de Contentores, uma das medidas com grande aceitação e validação por parte da comunidade científica para ser implementada é a criação de um sistema de marcação de horário. A aplicação correta desta medida traz inúmeros benefícios para melhorar a qualidade do ar na área portuária, sendo que existem outras medidas que devem ser implementadas em conjunto com esta para torná-la ainda mais eficaz.

Passando para as estratégias com um cariz mais global, conclui-se que as principais medidas a implementar passam pela criação de infraestruturas para o fornecimento de combustíveis marinhos alternativos e para a implementação do "Shore Power". De salientar, que existem outras medidas selecionadas como a utilização de equipamentos movidos a energias alternativas e a utilização de reboques equipados a contentores de baterias.

De realçar, a importância deste caso de estudo (Porto de Leixões), o qual já é uma referência a nível nacional, sendo o segundo maior porto comercial e ainda, a par com o Porto de Lisboa, um dos únicos que possui todo o tipo de infraestruturas. Assim, as medidas apresentadas podem servir de base para solucionar problemas semelhantes existentes nos restantes portos comerciais em Portugal.

Contudo, é necessário ter em conta que a maioria dos terminais/ cais existentes nos diversos portos marítimos portugueses encontram-se concessionados por empresas externas ao porto e da sua administração, o que pode provocar alguns entraves à implementação de certas medidas apresentadas, especialmente se estas exigirem um elevado esforço financeiro.

Em relação ao transporte marítimo em Portugal, foi possível constatar que o transporte marítimo de mercadoria possui uma grande expressão, uma vez que este é um dos principais tipo de transporte de mercadorias utlizado no país, existindo já diversos estudos que procuram descobrir a contribuição das emissões provenientes deste tipo de transporte na quantidade total de poluentes atmosféricos emitidos no país, o que demonstra a importância que este assunto possui.

Assim, foram identificadas e apresentadas as principais estratégias mitigadoras utilizadas para minimizar as emissões atmosféricas provenientes dos navios de mercadorias e ainda várias opções para serem implementadas. Estas estratégias encontram-se divididas em "medidas organizacionais", "utilização de combustíveis alternativos", "melhoria de eficiência energética" e ainda "técnicas operacionais" quer permitem reduzir as emissões de um poluente específico.

Como melhores medidas a implementar, para o caso das medidas organizacionais identifica-se a aplicação do "Slow Steaming", sendo que esta já se encontra implementada para os navios de contentores, podendo ser importante alarga-la a todos os outros tipos de navios.

Em termos de combustíveis alternativos, conclui-se que a melhor opção passaria pela utilização do gás natural liquefeito, uma vez que é o tipo de combustível alternativo que possui melhores resultados na diminuição dos principais poluentes atmosféricos associado ao transporte marítimo, com ressalvas importantes tendo em conta o seu modo de utilização.

Em relação às técnicas operacionais específicas para cada tipo de poluente, a pesquisa mostra que para reduzir as emissões de NO_x as melhores opções são a utilização da técnica de redução catalítica seletiva e a utilização do motor a ar húmido combinado com o uso de um filtro de partículas. Para a redução das emissões de SO_x, as melhores estratégias a utilizar passam pela

utilização de combustíveis com baixo teor de enxofre na sua composição, sendo esta uma estratégia já promovida na regulamentação existente, e ainda a utilização do tanque segregado e ainda a utilização de "Scrubbers". De salientar que nesta última opção, apesar dos inúmeros contributos para reduzir a emissão deste poluente atmosférico, acarreta outro tipo de problemas, nomeadamente em termos de poluição marinha.

Como trabalho futuro, seria interessante realizar estudos de projeção com recurso à utilização da modelação numérica, de modo a obter-se uma melhor perceção do contributo de cada uma das estratégias mitigadoras apresentadas para reduzir a quantidade de poluentes atmosféricos, quer no que diz respeito à escala local/portuária, quer nacional.

Por último, é possível afirmar que todos os objetivos propostos foram alcançados, sendo uma prova disso a brochura produzida no âmbito do projeto AIRSHIP (Figura 19), divulgada pelos vários agentes e associações marítimas e portuárias, a qual resultou inteiramente da elaboração desta dissertação.



Figura 19: Capa da brochura produzida no âmbito do projeto AIRSHIP.

Estratégias mitigadoras da poluição atmosférica associadas a atividades portuárias

Referências Bibliográficas

AdC. (2015). Estudo sobre a Concorrência no Setor Portuário. Disponível em: www.concorencia.pt

AdC. (2018). Estudo sobre a Concorrência no Setor Portuário. Disponível em: www.concorrencia.pt

AMT. (2016). Acompanhamento do Mercado Portuário. Relatório de Dezembro 2016. Disponível em: www.amt-autoridade.pt

Anturri, J., Hänninen, O., Jalkanen, J.P., Johansson, L.,..., Ollikainen, M. (2016). Cost and benefits of low-sulphur fuel standard for Baltic Sea shipping. Journal of Environmental Management, Volume 184, Part 2, 15 December 2016, Pages 431-440. http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.064

Aparício, S-Lopéz, Tønnesen, D., Thanh, T. N., Nielson, H. (2017). Shipping emissions in a Nordic Port: Assessment of mitigation strategies. Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 53, June 2017, Pages 205-216. http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2017.04.021

APDL (2018). Porto de Leixões- APDL. Disponível em https://www.apdl.pt/relatorio-desustentabilidade [Acedido a 15/12/2018]

APDL (2019). Porto de Leixões. Disponível em https://www.apdl.pt [Acedido em 10/01/2019]

Åström, S., Yaramenka, K., Winnes, H., Fridell, E. Holland, M. (2018). The cost and benefits of a nitrogen emission control area in the Baltic and North Seas. Transportation and Research Part D: Transport and Environment, 59, 223-236. https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.12.014

Borrego, C., Costa, A.M., Amorim, J.H., Santos, P.,..., Miranda,I. (2007). Air quality impact due to scrap-metal handling on a sea port: A wind tunnel experiment. Atmospheric Environment, 41 (30), 6396-6405. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.01.022

Cariou, P. (2011). Is slow steaming a sustainable means of reducing CO2 emissions from container shipping? Transportation Research Part D: Transport and Environment, 16 (3), 260-264. 10.1016/j.trd.2010.12.005

Chang, Y.T., Park, H., Lee, S., Kim, E. (2018). Have Emission Control Areas (ECAs) harmed port efficiency in Europe? Transportation Research Part D: Transport and Environment, 58, 39-53. https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.10.018

Chen, X., Zhou, X., List, G.F. (2011). Using time-varying tolls to optimize truck arrivals at ports. Transport and Research Part E, Volume 47 (6), 965-982. 10.1016/j.tre.2011.04.001

Chen, G., Govindan, K., Golias, M.M. (2013). Reducing truck emissions at container terminals in a low carbon economy: Proposal of a queueing-based bi-objetive model for optimizing truck arrival pattern. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 55, 3-22. http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2013.03.008

Chen, D., Tian, X., Lan, J., Zhou, Y.,..., Liu, B. (2019). The impact of ship emissions on PM2.5 and the deposition of nitrogen and sulfur in Yangtze River Delta, China. Science of The Total Environment, 649, 1609-1619. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.313

Corbett, J.J., Wang, H., Winebrake, J.J. (2009). The effectiveness and cost of speed reductions on emissions from international shipping. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 14 (8), 593-598. doi:10.1016/j.trd.2009.08.005

Corson, L.A., Fisher, S.A (2009). Manual of best management practices for port operations and model environmental management system. Disponível em: http://www.glmri.org/downloads/resources/manualBestManagementPorts.pdf

DAO. (2018). AIRSHIP. Disponível em: http://airship.web.ua.pt

Decreto-Lei nº 102/2010, de 17 de Janeiro. Diário da República nº186, Série I. Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território.

Deniz, C. & Zincir, B. (2016). Environmental and economical assessment of alternative marine fuels. Journal of Cleaner Production, 133, 438-449. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.089

EEA. (2017). Aviation and Shipping- impacts on Europe's environment. Disponível em https://www.eea.europa.eu/publications/term-report-2017

ENTEC. (2010). Study to Review Assessments Undertaken of the Revised MARPOL ANNEX VI Regulations.

EPA. (2018). United States Environmental Protection Agency. Disponível em https://www.epa.gov/ports-initiative/gct-bayonnes-drayage-truck-appointment-system [Acedido em 20/10/2018]

Han, C.h. (2010). Strategies to Reduce Air Pollution in Shipping Industry. The Asian Journal of Shipping and Logistics, 26 (1), 7-29.

Halff, A., Younes, L., Boersma, T. (2019). The likely implications of the new IMO standards on the shipping industry. Energy Policy, 126, 277-286. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.033

Hua, J., Wu, Y., Chen, H. (2017). Alternative fuel for sustainable shipping across the Taiwan Strait. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 52 (A), 254-276. http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2017.03.015

IMO. (2011). IMO and the Environment. Disponível em http://www.imo.org

IMO. (2014). Third IMO Greenhouse Gas Study 2014. Disponível em: www.imo.org

IMO. (2019). Organização Internacional Marítima. Disponível em: www.imo.org [Acedido em 25/03/2019]

INE. (2018). Estatísticas da Pesca- 2017. Disponível em: www.ine.pt

Kozarev, Nikolay & Stoyanov, Stoyan & Ilieva, Nina. (2019). AIR POLLUTION IN PORT AREAS.

Lai, K.H., Lun, V.Y.H., Wong, C.W.Y, Cheng, T.C.E. (2011). Green shipping practices in the shipping industry: Conceptualization, adoption, and implications. Resources, Conservation and Recycling, 55 (6), 631-638. doi:10.1016/j.resconrec.2010.12.004

Ledoux, F., Roche, C., Cazier, F., Beaugard, C., Courcot, D. (2018). Influence of ship emissions on NOx, SO2, O3 and Pm concentrations in a North-Sea harbor in France. Journal of Environmental Sciences, 78, 56-66. https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.03.030

Li, N., Chen, G., Govindan, K., Jin, Z. (2018). Disruption management for truck appointment system at a container terminal: A green initiative. Transportation and Research Part D: Transport and Environment, 61 (B), 261-273. http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2015.12.014

Lindstad, H & Eskeland, G. (2016). Environmental regulations in shipping: Policies leaning towards globalization of scrubbers deserve scrutiny. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 47, 67-76. http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2016.05.004

Maguire, A & Ivey, Stephanie & Golias, Mihalis & Lipinski, M.E.. (2010). Relieving congestion at intermodal marine container terminals: Review of tactical/operational strategies. 51st Annual Transportation Research Forum 2010. 1. 631-645.

Marine Insight. (2012). The Guide to Slow Steaming on Ships. Disponível em: www.marineinsight.com

Merico, E., Donateo, A., Gambaro, A., Cesari, D.,..., Contini, D. (2016). Influence of in-port ships emissions to gaseous atmospheric pollutants and to particulate matter of different sizes in Mediterranean harbor in Italy. Atmospheric Environment, 139, 1-10. http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.05.024

Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. (2006). Orientações Estratégicas para o Setor Marítimo Portuário. Disponível em: www.ordemdosengenheiros.pt

NABU. (2015). *Clean Air in Ports.* Berlim, Germany: German Nature and Biodiversity Conservation Union.

Navamuel, E.D.R., Piris, A.O., Labajos, C.A.P. (2018). Reduction in CO2 emissions in RoRo/Pax ports equipped with automatic mooring systems. Environmental Pollution, 241, 879-886. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.06.014

Nielsen, E. & Lien, C.E. (2015). Adapting to the new IMO emission regulations. Department of Economics and Business, Business and Social Science, Aarhus University.

Noor, C.W.R., Noor, M.M., Mamat, R. (2018). Biodiesel as alternative fuel for marine diesel engine applications: A Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 94, 127-142. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.031

Nunes, R.A.O, Alvim-Ferraz, M.C.M, Martins, F.G., Sousa, S.I.V. (2017). Assessment of shipping emissions on four ports of Portugal. Environmental Pollution, 231 (2), 1370-1379. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.08.112

Phan, M.H, Kim, K.H. (2015). Negotiating truck arrival times among trucking companies and a container terminal. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 75, 132-144. http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2015.01.004

Pordata. (2019). Pordata - Base de Dados Portugal Contemporâneo. Disponível em: www.pordata.pt [Acedido em 15/04/2019]

Ren, J. & Lützen, M. (2017). Selection of sustainable alternative energy source for shipping: Multicriteria decision making under incomplete information. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 74, 1003-1019. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.057

Rusca, F., Rosca, E., Costescu, D., Rusca, A., Rusca, M., Olteanu, S. (2018). The influence of storage area design on maritime container terminal capacity. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 400, 8- Materials and Technologies in Marine Engineering. doi:10.1088/1757-899X/400/8/082017

Russo, M., Monteiro, A., Gama, C., Borrego, C. (2018). How important are maritime emissions for the air quality: At European and national scale. Environmental Pollution, 242, 565-575.

Sardinha, F. (2013). Poluição e o Transporte Marítimo. Colecção Mar fundamental. Disponível em: https://transportemaritimoglobal.files.wordpress.com

Seediek, Ibrahim & A. Mosleh, Mosaad & Banawan, Adel. (2014). Fuel saving and emissions cut through shore-side power concept for high-speed crafts at the red sea in egypt. Journal of Marine Science and Application, 12, 463-472. 10.1007/s11804-013-1218-6.

Seediek, I. & Elgohary, M. (2014). Ecofriendly selection of ship emissions reduction strategies with emphasis on Sox and NOx emissions. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 6 (3), 737-748. http://dx.doi.org/10.2478/IJNAOE-2013-0209

Sorte, S., Lopes, M., Rodrigues, V., Leitão, J., Monteiro, A.,..., Borrego, C. (2018). Measures To Reduce Air Pollution Caused By Fugitive Dust Emissions From Harbour Activities. International Journal of Environmental Impacts, 1 (2), 115-126. DOI: 10.2495/EI-V1-N2-115-126

Tichasvska, M., Tovar, B., Gritsenko, D. Johansson, J., Jalkaken, J. (2019). Air emissions from ships in port: Does regulation make a difference? Transport Policy, 75, 128-140.

Yang, Z., Zhang, D., Caglayan, O. Jenkison, I.,... Yan, X. (2012). Selection of techniques for reducing shipping NOx and Sox emissions. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 17 (6), 478-486. https://doi.org/10.1016/j.trd.2012.05.010

Yaun, J. (2019). Evaluation of Mitigation Strategies in Shipping Industry Using a Metamodel Based Method. Energy Procedia, 158, 4031-4036. 10.1016/j.egypro.2019.01.836

Zehender, E. & Feillet, D. (2014). Benefits of a truck appointment system on the service quality on inland transport modes at a multimodal container terminal. European Journal of Operational Research, 235 (2), 461-469

Anexos

Anexo A

Questionário Porto de Leixões

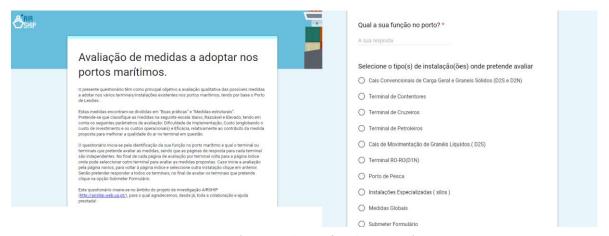


Figura 20: Página inicial e interface do questionário.

• Cais Convencionais de Carga Geral e Granéis Sólidos

	vuldada da		nboios	M3: Lavar as estra	das navimentadas		
Imple Baixo Razoável Elevado		Custo			ado parmientadas		
Razoável Elevado	_	0000	Eficácia		Dificuldade de Implementação	Custo	Eficácia
Elevado				Baixo			
				Razoável			
M2: Lavar rodae a latera				Elevado			
Difici			Eficácia	M4: Diminuir a altu operações de carg	a/ descarga Dificuldade de	s sólidos são lar	gados na
Baixo				Baixo	Implementação		
Razoável							
Elevado				Razoável	Ш		
				Elevado			

descarga quand	r qualquer tipo de d do as condições atr	nosféricas fo	rem	M7: Reduzir o estilha e vidro	tempo de armazena	mento das pil	has de sucatas,
desfavoráveis (ex: Ventos com vel	ocidade supe	erior a 50 Km/h)		Dificuldade de Implementação	Custo	Eficácia
Debus	Implementação			Baixo			
Baixo				Razoável			
Razoável				Elevado			
Elevado							
M6: Definir o pe	ríodo de operação	em função da	a previsão		gar a pilha de sucata definir a sua dimens	•	
meteorologica	Dificuldade de	Custo	Eficácia		Dificuldade de Implementação	Custo	Eficácia
Baixo	Implementação	П	П	Baixo			
		_		Razoável			
Razoável				Elevado			
•	ar regularmente os Gruas, Canhões de Dificuldade de Implementação		os utilizados nas Eficácia		s processos de movi ovimentar esta carga		
Baixo					Implementação	Custo	Eficácia
Razoável				Baixo			
Elevado	П	П		Razoável			
Lievado				Elevado			
	poedra antes de ser o pórtico de molha)	descarregada	dos camiões				
	Dificuldade de Implementação	Custo	Eficácia				
Baixo							
Razoável							
Elevado							

Figura 21: Medidas (Boas Práticas) mitigadoras para o Cais de Carga Geral e Granéis Sólidos.

Estruturais							
	cais uma manga de er qual a direcção e		lo vento	vento durante o	os canhões de água manuseamento das		
	Dificuldade de Implementação	Custo	Eficácia	estilha)	Dificuldade de	Custo	Eficácia
Baixo					Implementação		
Razoável				Baixo			
Elevado				Razoável			
				Elevado			
M2: Aumentar o de água	teor de humidade	dos graneís u	sando canhões				
ac agaa	Dificuldade de Implementação	Custo	Eficácia	M4: Uso de barro	eiras e corta-ventos Dificuldade de Implementação	, na zona da p _{Custo}	ilha de vidro Eficácia
Baixo				Baixo			
Razoável				Razoável			
Elevado				Elevado			
M5: Alterar a po	OSİÇÃO E dimensão (Dificuldade de Implementação	da pilha de vid _{Custo}	iro Eficácia		andas transportado granéis do navio par Dificuldade de	•	•
Baixo				Baixo	Implementação		
Razoável				Razoável			
Elevado							
				Elevado			
M6: Utilizar pin	ças de carga ou gar Dificuldade de Implementação	ras nas gruas	Eficácia		infra-estruturas par (ex: Hangares, Don	_	anéis
Baixo				diffiazoffaco	Dificuldade de Implementação	Custo	Eficácia
Razoável				Baixo			
Elevado				Razoável			
				Elevado			

Figura 22: Medidas (Estruturais) mitigadoras para o Cais de Carga Geral e Granéis Sólidos.

• Terminal de Contentores

Boas Práticas	7		
M1: Desligar os	camiões enquanto Dificuldade de Implementação	estão em fila _{Custo}	de espera Eficácia
Baixo			
Razoável			
Elevado			
M2: Banir a mar	Cha lenta Dificuldade de Implementação	Custo	Eficácia
Baixo			
Razoável			
Elevado			

Figura 23: Medidas (Boas Práticas) para o Terminal de Contentores.

Estruturais							
M1: Definir a a	altura máxima de cor	itentores em	altura em cada	M3: Criar uma	ı zona de espera para	a os camiões	
parque					Dificuldade de Implementação	Custo	Ef
	Dificuldade de Implementação	Custo	Eficácia	Baixo			
Baixo				Razoável			
Razoável				Elevado	П	П	
Elevado							
M2: Alterar a o	disposição dos conte				cnologias de automa 1 tempo real, de mod niões		
	Implementação	Custo	Eficácia		Dificuldade de Implementação	Custo	Ef
Baixo	Ш	Ш	Ш	Baixo			
Razoável				Razoável	П	П	
Elevado				Elevado			
	ratar camiões que uti ex: Camiões eléctrico Dificuldade de Implementação		stíveis Eficácia				
Baixo							
Baixo Razoável							

Figura 24: Medidas (Estruturais) mitigadoras para o Terminal de Contentores.

• Terminal de cruzeiros

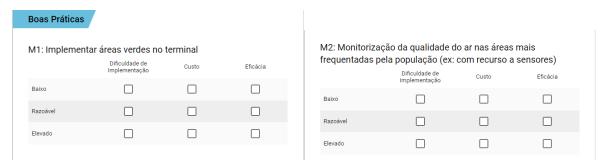


Figura 25: Medidas (Boas Práticas) para o Terminal de Cruzeiros.

• Terminal de Petroleiros

Boas Práticas				Estruturais			
M1: Inspeccion de carga/desca	ar os equipamento: arga		, ,	M1: Implemer	ntar procedimentos de Dificuldade de Implementação	e drenagem c	le linha Eficácia
	Implementação	Custo	Eficácia	Baixo			
Baixo				Razoável			
Razoável				Elevado	П		П
Elevado							
•	ar as conexões de	carga/descarç	ga dos	M2: Instalar m	nangueiras autovedar	ntes, na zona	de descarga dos
oleodutos	Diculdade de Implementação	Custo	Eficácia		Dificuldade de Implementação	Custo	Eficácia
Baixo	Implementação	П	П	Baixo			
Razoável				Razoável			
				Elevado			
Elevado			Ш				

Figura 26: Medidas(Boas Práticas (esquerda) e Estruturais (direita) para o Terminal de Petroleiros.

Cais de Movimentação de Granéis Líquidos (D2S)

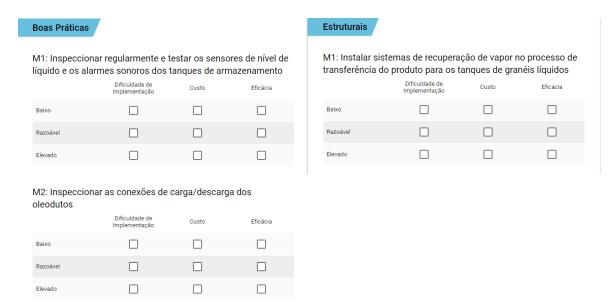


Figura 27: Medidas (Boas Práticas (esquerda) e Estruturais (direita) para o Cais de Movimentação de Granéis Líquidos.

Terminal RO-RO



Figura 28: Medidas (Boas práticas (esquerda) e Estruturais (direita) para o Terminal RO-RO.

Instalações Especializadas (Silos)

Boas Práticas	7			Estruturais			
M1: Banir a maro	cha lenta Dificuldade de Implementação	Custo	Eficácia	M1: Substituir pelo transport	,	e das mercad	orias (ex: optar
Baixo					Dificuldade de Implementação	Custo	Eficácia
Razoável	П			Baixo			
				Razoável			
Elevado	Ш		Ш	Elevado			
M2: Substituir o usar GPL)	tipo de combustívo Dificuldade de Implementação	el utilizado no	s camiões (ex:		n sistema pipelines c material do navio par Dificuldade de Implementação		
Baixo				Baixo	Implementação		
Razoável				Dalixu			
Elevado				Razoável			
	_	_	_	Elevado			

Figura 29: Medidas (Boas Práticas (esquerda) e Estruturais (direita) para as Instalações Especializadas.

• Medidas Globais

Boas Práticas	7		
	cnica "slow steami diminuir o consun	• ,	
	Dificuldade de Implementação	Custo	Eficácia
aixo			
azoável			
do			
12: Desligar os	motores enquanto	o o navio está	atracado
	Dificuldade de Implementação	Custo	Eficácia
Baixo			
Razoável			
Elevado			

Figura 30: Medidas (Boas Práticas) globais.

Estruturais						
	motores auxiliare		armazenada no	M3: Utilizar co	M3: Utilizar como combustível GNI	M3: Utilizar como combustível GNL (Gás Natura
navio (ex: um cor	ntentor com bateri Dificuldade de	Custo	Eficácia		Dificuldade de Implementação	Dificuldade de Custo Implementação
Baixo	Implementação		П	Baixo	Baixo	Baixo
Razoável		П		Razoável	Razoável	Razoável
Elevado	П	П		Elevado	Elevado	Elevado
Lievado						
M2: Utilizar Scrub	bbers (dispositivos	s purificadore	s de gases)		M4: Utilizar tecnologia de redução diminui emissões de NOx)	M4: Utilizar tecnologia de redução catalítica sel diminui emissões de NOx)
	Dificuldade de Implementação	Custo	Eficácia		Dificuldade de Implementação	Dificuldade de Custo
Baixo				Baixo	Baixo	Baixo
Razoável				Razoável	Razoável	Razoável
Elevado				Elevado	Elevado	Elevado
M5: Utilizar filtro	Dificuldade de	Custo	Eficácia	M7: Criar infra	· ·	M7: Criar infraestruturas para a utilização do "sl
Deive	Implementação				Dificuldade de Implementação	Dificuldade de Custo Implementação
Baixo				Baixo	Baixo	Baixo
Razoável				Razoável	Razoável	Razoável
Elevado				Elevado	Elevado	Elevado
M6: Investir em i	nfraestruturas par	ra fornecer co	mbustíveis			
alternativos	•					M8: Utilizar motores híbridos ou elétricos em to equipamentos não rodoviários (Gruas, tratores
	Dificuldade de Implementação	Custo	Eficácia		Dificuldade de Implementação	Dificuldade de Custo Implementação
Baixo				Baixo	Baixo	Baixo
Razoável				Razoável	Razoável	Razoável
Elevado				Elevado	Elevado	Elevado
	nica de injeção de	_	no combustível	M10: Utilizar o	M10: Utilizar combustíveis mais lir	M10: Utilizar combustíveis mais limpos, de mod
utilizado pelos e	quipamentos (dies Dificuldade de	sel)	Eficácia	gasóleo colorio	gasóleo colorido (embarcações pis	gasóleo colorido (embarcações piscatórias)
	Implementação	_	_		Implementação	Implementação Custo
Baixo				Baixo	Baixo	Baixo
				Razoável	Razoável	Razoável
Razoável	_					

Figura 31: Medidas (Estruturais) globais.