



ANDRÉ NEVES | SANDRA SORTE | MICHAEL RUSSO  
ALEXANDRA MONTEIRO | MYRIAM LOPES | CARLOS BORREGO

# MITIGAÇÃO DE EMISSÕES MARÍTIMAS E PORTUÁRIAS

## LINHAS ORIENTADORAS



universidade de aveiro  
theoria poiesis praxis

## **FICHA TÉCNICA**

### **Título**

Mitigação de emissões marítimas e portuárias:  
Linhas orientadoras

### **Autores**

Alexandra Monteiro, Myriam Lopes, Carlos Borrego,  
André Neves, Sandra Sorte, Michael Russo

### **Design e paginação**

Ji&Gu - Design e Consultadoria Criativa

### **Impressão e acabamento**

RealBase

### **Editora**

UA Editora - Universidade de Aveiro  
1ª edição - julho 2019

### **Tiragem**

100 exemplares

### **ISBN**

978-972-789-607-3

### **Depósito legal**

458508/19

*"A vision without a strategy remains an illusion."*  
**Lee Bolman**





## ÍNDICE

I. INTRODUÇÃO // 7

II. EMISSÕES MARÍTIMAS E PORTUÁRIAS // 9

III. ESTRATÉGIAS/LINHAS ORIENTADORAS À ESCALA PORTUÁRIA // 19

IV. ESTRATÉGIAS/LINHAS ORIENTADORAS À ESCALA NACIONAL // 33

COMENTÁRIOS FINAIS // 41

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS // 45





## I. INTRODUÇÃO

---

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, concorrendo 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. Contudo, este crescimento possui um ritmo mais elevado do que a economia trazendo por isso alguns problemas (Hua et al, 2017). Estima-se 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 et 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<sub>x</sub>) e azoto (NO<sub>x</sub>) (Lindstad et al, 2016), sendo também um dos maiores emissores de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a nível global, no 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 encontram-se fortemente associadas ao uso de combustíveis fósseis (Kozarev et al, 2014). Existem ainda outras 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 marítimo internacional, de forma a se conseguir minimizar os impactos associados a este tipo de transporte e melhorar a qualidade do ar tanto ao nível local como regional.

O projeto AIRSHIP – “Impacto das emissões do transporte marítimo e portuário na qualidade do ar em Portugal: cenários presente e futuro.” ([www.airship.web.ua.pt](http://www.airship.web.ua.pt)), desenvolvido pelo grupo de investigação GEMAC do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, teve como principal objetivo avaliar o impacto das emissões do transporte marítimo na qualidade do ar em Portugal, tendo como caso de estudo o Porto de Leixões à escala local e Portugal à escala regional, e considerando o cenário presente e futuro (com alterações climáticas). Tratou-se de um projeto financiado pela FCT e que decorreu entre 2016-2019. Este projeto, estruturado em quatro tarefas distintas, compreendeu na última tarefa a elaboração de um conjunto de medidas/estratégias mitigadoras para minimizar os impactos associados ao transporte marítimo no país.

Este documento, produzido no âmbito do projeto AIRSHIP, procura assim dar resposta a este objetivo de delinear estratégias mitigadoras e boas práticas para reduzir o impacto das emissões provenientes tanto do transporte marítimo, como também de todas as atividades portuárias associadas, promovendo uma melhor gestão e proteção da qualidade do ar.

Desta forma, no capítulo 2 é feita uma breve apresentação das emissões marítimas e seu impacto na qualidade do ar. No capítulo 3 é apresentado o caso de estudo do Porto de Leixões que foi usado como referência, tendo sido identificados os principais problemas existentes no porto, e definidas as melhores medidas/estratégias para minimizar o impacto desses problemas na qualidade do ar, tanto no interior do Porto de Leixões, bem como na área envolvente. No capítulo 4, para além do foco na área portuária, foi elaborado um conjunto de estratégias mitigadoras das emissões marítimas, com foco à escala nacional.





## II. EMISSÕES MARÍTIMAS E PORTUÁRIAS

### Emissões marítimas

Como todas as atividades marítimas dependem do uso de combustíveis fósseis, as emissões de poluentes atmosféricos associadas compreendem tanto gases de combustão, como gases de efeito estufa (GEE) (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 de efeito estufa, indicando que o transporte marítimo contribui, atualmente, em 2,5% das emissões globais e que desde 1990 estas emissões provenientes do setor marítimo tiveram um aumento de 22%, sendo o segundo setor que mais emite gases de efeito estufa para a atmosfera, tendo contribuído em 2015, com 13% das emissões destes gases na Europa.

As emissões de GEE têm tido uma atenção em especial, principalmente da Organização Marítima Internacional (IMO), responsável pelo desenvolvimento de diversos estudos específicos focados na inventariação de emissões marítimas. De acordo com o terceiro 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 atmosféricos. Este estudo mostra ainda quais os tipos de navios (navios de contentores, petroleiros e navios de material a granel) que mais contribuem na emissão de GEE (IMO, 2014). A Figura 1 mostra o contributo do transporte marítimo nas emissões globais de gases de exaustão para a Europa, comparando com outros tipos de transporte e ainda considerando outros setores económicos (EEA, 2017).

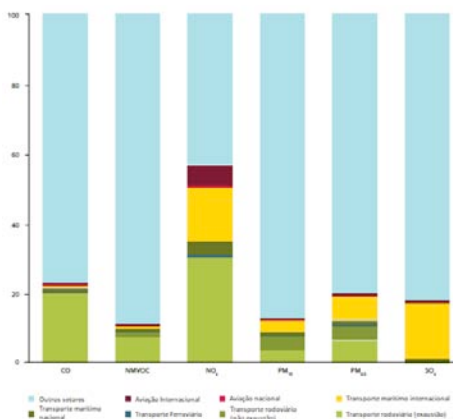


Figura 1: Contributo do transporte marítimo para as emissões de gases de exaustão na Europa (EEA, 2017).

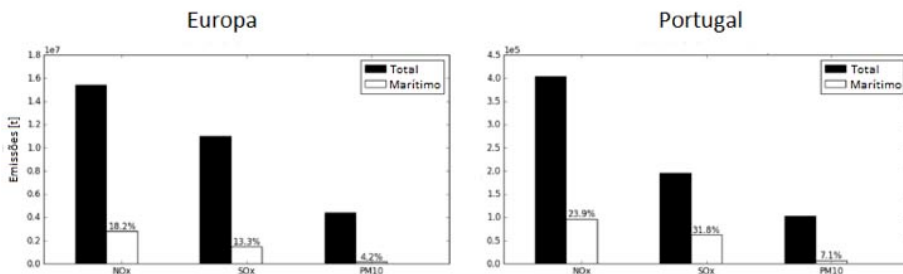


Figura 2: Contribuição do transporte marítimo nas concentrações de poluentes na Europa e Portugal (Monteiro et al, 2018).

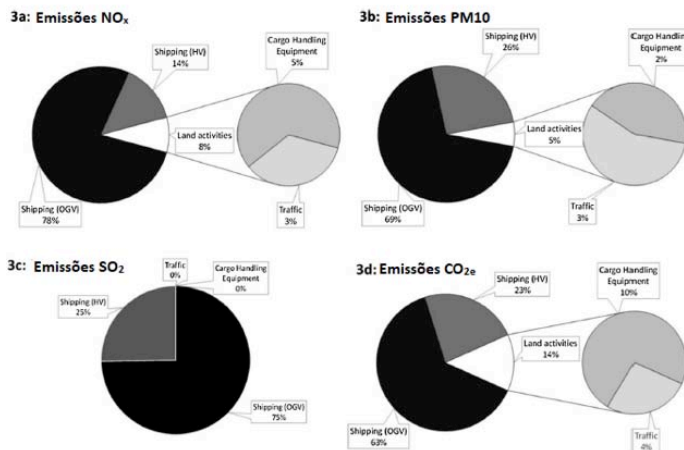


Figura 3: Fontes de emissões atmosféricas num porto marítimo. (López-Aparicio et al, 2017).

No âmbito do projeto AIRSHIP foi realizado um inventário de emissões marítimas com detalhe sobre Portugal, tendo por base o inventário Europeu STEAM, desenvolvido pelo Finnish Meteorological Institute (Jalkanen et al, 2009; Russo et al, 2018). A contribuição do transporte marítimo na concentração total dos principais poluentes atmosféricos (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> e PM10) para a Europa e para Portugal, encontra-se apresentada na Figura 2.

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

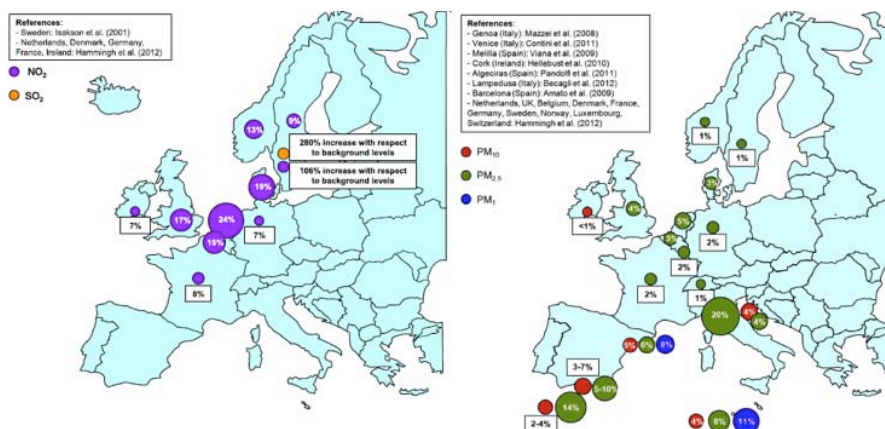


Figura 4: Contributo do transporte marítimo nas emissões de poluentes troposféricos na Europa (Viana et al, 2014).

Relativamente às emissões associadas aos portos, existem várias fontes emissoras envolvidas nas diferentes atividades portuárias. Na Figura 3 apresenta-se, a título de exemplo, a contribuição relativa dessas fontes estimada por López-Aparicio et al (2017) para o caso do Porto de Oslo.

## Impacto das emissões marítimas na qualidade do ar

Tendo em conta a contribuição das emissões do transporte marítimo para a qualidade do ar, existem já diversos estudos como Viana et al (2014) 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. Neste estudo as emissões do transporte marítimo contribuem entre 1 a 7% para os níveis de PM<sub>10</sub> no ar ambiente e entre 1 a 14% para os níveis de PM<sub>2.5</sub>. Este estudo revela ainda, que o transporte marítimo contribui para os níveis de NO<sub>x</sub> no ar ambiente entre 7 a 24%, sendo os valores mais elevados registados na Holanda e na Dinamarca.

A Figura 4 mostra qual o contributo do transporte marítimo para a concentração dos principais poluentes troposféricos ao longo de toda a área do continente europeu.

Ledoux et al (2018) analisou também a influência das emissões dos navios nas concentrações de NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e partículas a uma escala local, através de um caso estudo no porto de Calais e na zona de Cape Gis-Nez em França. A análise das concentrações médias diárias medidas em 2014 para vários poluentes mostraram valores bastante superiores no porto de Calais em comparação com Cape Gis-Nez, com exceção das PM<sub>10</sub> com diferenças pouco significativas. 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 emissões marítimas não afetavam de forma significativa as concentrações de partículas registadas no porto.

Mais recentemente, Chen et al (2019) quantificaram os impactos das emissões dos navios na composição anual e sazonal de PM<sub>2,5</sub> na região de 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 PM<sub>2,5</sub> seria de até 35% nas zonas próximas aos portos, uma vez que em relação à deposição de enxofre, esta encontrava-se sobretudo restrita às zonas de rotas marítimas da região.

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 4 portos marítimos portugueses, concretamente 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 CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub> eram os poluentes emitidos em maior quantidade não só dentro do porto, mas também durante a navegação dos navios nas rotas marítimas, representando estes cerca de 95% das emissões totais.

Merico et al (2016) estudou a contribuição das emissões marítimas nas concentrações dos poluentes atmosféricos (NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub>) 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. 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 SO<sub>2</sub> em comparação com NO e o NO<sub>2</sub>, resultante da utilização de combustíveis com baixo teor de enxofre.

Tendo em conta todas as regulamentações impostas pela IMO, Tichavska et al (2019) procurou entender se as atuais regulamentações 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 Hong Kong, tendo os resultados apontado para que com estas regulamentações as concentrações de poluentes na área portuária fossem significativamente reduzidas.

Åström et al (2018) faz 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 impactos na saúde (Alpha-Risk Poll), considerando cenários que se diferenciavam principalmente no tipo de combustível utilizado. Verificou-se que a utilização do gás natural liquefeito nestas áreas, seria a opção mais viável tendo em conta os benefícios associados.

No âmbito do projeto AIRSHIP foi feita também a estimativa das emissões atmosféricas associadas ao transporte marítimo em Portugal e avaliada a contribuição destas emissões na qualidade do ar, recorrendo a um sistema de modelação numérica (Monteiro et al, 2018). Os resultados obtidos com o sistema de modelação WFR-CHIMERE revelou que estas emissões são responsáveis em cerca de 23% para o NO<sub>x</sub> e que o poluente primário que possui uma menor percentagem de influência são as PM<sub>10</sub> com uma contribuição relativa de cerca de 5%. Na Figura 5, apresentam-se alguns dos resultados relativamente às diferenças encontradas nas simulações (com e sem emissões marítimas), e que permitem estimar a contribuição das emissões do transporte marítimo na qualidade do ar, relativas aos poluentes primários mais críticos (NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub>).

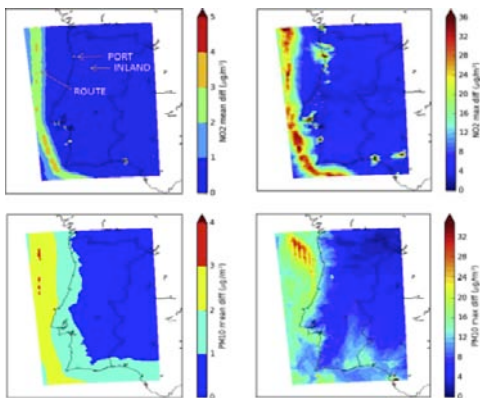


Figura 5: Contribuição do transporte marítimo na concentração de  $\text{NO}_2$  e  $\text{PM}_{10}$  (Monteiro et al, 2018).

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  $\text{NO}_2$ , especialmente nas zonas das rotas marítimas internacionais onde a concentração deste poluente pode chegar a valores superiores a  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e ainda nas zonas portuárias, sendo que neste caso existem ainda as emissões provenientes do tráfego rodoviário. Relativamente a  $\text{PM}_{10}$ , verifica-se um comportamento semelhante ao  $\text{NO}_2$ , com contribuição/impacto apenas juntos às rotas e com alcance apenas até à zona costeira.

## 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 para as emissões de óxidos de azoto ( $\text{NO}_x$ ), óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ) e compostos orgânicos voláteis (COV) e ainda proibia emissões de compostos depletadores da camada de ozono estratosférico ( $\text{O}_3$ ), 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  $\text{NO}_x$ , sendo que as principais alterações foram a redução progressiva das emissões de  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  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  $\text{SO}_x$  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 iniciais 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 6), 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 6: Áreas de controlo de emissões do transporte marítimo existentes na Europa (Nielsen e Enger, 2015).

Tabela 1: Limites de emissões de NO<sub>x</sub> 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 < 199	n ≥ 200 rpm
I	1 de janeiro de 2000	17	45 n <sup>-0.2</sup>	9,8
II	1 de janeiro de 2011	14,4	44 n <sup>-0.23</sup>	7,7
III	1 de janeiro de 2016	3,4	9 n <sup>-0.2</sup>	2,0

"n" corresponde ao *Rated Engine Speed, rpm*

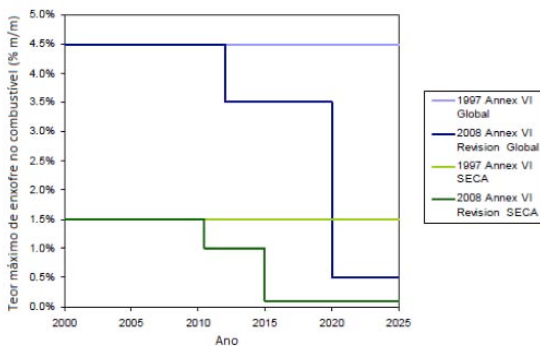


Figura 7: Limites de teor máximo de enxofre nos combustíveis impostos pela IMO (ENTEC, 2010).

Na Figura 7, são representadas todas as diminuições impostas nos que diz respeito ao teor máximo de enxofre nos combustíveis.

No que diz respeito aos limites de emissão dos óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>) dos motores a diesel, estes encontram-se divididos em diferentes níveis dependendo do ano de construção do navio. Para navios cujo o motor a diesel tenha sido instalado a partir de 1 de janeiro de 1990 encontra-se no nível 1, motores a diesel instalados a partir de 1 de janeiro de 2011 encontram-se no nível 2 e navios construídos a partir de 1 de janeiro de 2016 encontram-se no nível 3. O limite de emissão encontra-se relacionado com o número de rotações por minuto do motor, sendo que este valores encon-

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

IMO	2010	2015	2020
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 SECAs	3,5%	3,5%	0,5%
Atracado		0,1%	0,1%

tram-se descritos na Tabela 1 (IMO, 2019) (Nielsen and Enger, 2015). De realçar que existe uma redução do valor de emissões entre o nível 1 e o nível 2 de 20 % e entre o nível 2 e o nível 3 de 75% (EEA, 2017). Relativamente às áreas de controlo de emissões para os óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>), 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, 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 diretiva não abrangia as emissões de NO<sub>x</sub>, nem de PM (Sardinha, 2013).

Em 2005, foi terminada a Estratégia Temática sobre a Poluição Atmosférica que pretendia reduzir as emissões de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> 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 deste composto 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 UE passaram a ter um limite do teor máximo de enxofre de 0,1%, durante um período igual a 2 ou mais horas (Sardinha, 2013).

No ano de 2012, surgiu a Diretiva 2012/33/EU, que revogou a Diretiva 1999/32/EC, e reformulou todas as imposições de enxofre de acordo com a revisão do Anexo VI da MARPOL, estabelecendo 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, 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 SO<sub>x</sub> dependendo estas do tipo e idade do navio (Sardinha, 2013). A Ta-

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

Poluente	Terminologia	Período Considerado	Valor Limite ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Nº de excedências permitidas
PM10	Valor limite diário	24 horas	50	35
	Valor limite anual	Ano civil	40	-
PM2,5	Valor alvo	Ano civil	25	-
SO <sub>2</sub>	Valor limite horário	24 horas	350	24
	Valor limite anual	Ano civil	125	3
	Limiar de alerta	Base horária medido em 3 horas consecutivas	500	-
NO <sub>2</sub>	Valor limite horário	1 hora	200	18
	Valor limite anual	Ano civil	40	-
	Limiar de alerta	3 horas	400	-
O <sub>3</sub>	Valor alvo para a saúde humana	Máximo das médias octo-horárias do dia	120	25
	Limiar de alerta	1 hora	180	-
	Limiar de informação	1 hora	240	-

bela 2 resume todas a exigências estabelecidas tanto pela IMO como pela UE.

Em relação aos gases de 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 de efeito estufa do transporte marítimo, tendo como principal finalidade melhorar a eficiência energética dos novos navios através de novas técnicas de dimensionamento dos navios já existentes e de propulsão (IMO,2011).

A introdução deste novo capítulo constituiu o primeiro regime de redução de emissões de GEE para 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).

Outra estratégia implementada pela IMO foi a criação do Plano de Gestão de Eficiência Energética do Navio (SEEMP) em 2013, 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 melhoramento (EEA, 2017).

Para o futuro, a IMO pretende reduzir as emissões de gases de 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 CO<sub>2</sub>. Esta estratégia consiste em monitorizar, verificar e relatar as emissões de CO<sub>2</sub> de navios de grandes dimensões, introduzir metas de redução de emissão para o setor do transpor-



te marítimo e estabelecer algumas medidas de meio a longo prazo (EEA, 2017). Com isto, a União Europeia pretende reduzir as emissões de gases de efeito estufa em cerca 20% até 2020.

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 impacto 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, na jurisdição portuguesa foi transposta pelo Decreto-Lei 102/2010, de 23 de setembro.

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

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 715/2007/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.



### III. ESTRATÉGIAS/LINHAS ORIENTADORAS À ESCALA PORTUÁRIA



#### A 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 8), estando estes divididos em sistema de portuário primário constituídos 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) encontram-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, reside no facto dos portos marítimos que se encontram no sistema portuário principal serem geridos por Administrações Portuárias enquanto os portos marítimos do sistema portuário secundário são 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), ou os Portos de Sines, Faro e Portimão, geridos pela Administração dos Portos de Sines e do Algarve, S.A, e ainda o Porto de Aveiro e Figueira da Foz geridos pela Administração do Porto de Aveiro.

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 (corredor Atlântico) no Porto de Sines (Figura 14), sendo por essa 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, carga rolante (RO-



Figura 8: Localização geográfica dos principais portos comerciais em Portugal Continental (AdC, 2018).

-RO: Roll on-Roll off) 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 9 apresenta-se a evolução da quantidade, em kilotoneladas, de cada classe de carga movimentada entre 2012 e 2016 nos portos marítimos portugueses.

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

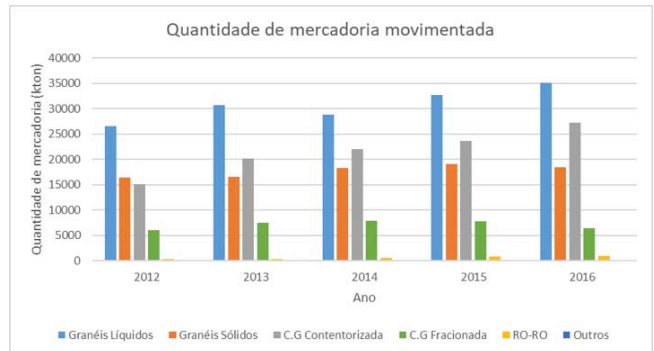


Figura 9: Evolução da quantidade de mercadoria movimentada nos portos comerciais de Portugal Continental (AMT, 2016).

pescas, 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 o número de embarcações de pesca no território português tem vindo a diminuir com o decorrer dos anos (Figura 10). 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 11) (INE, 2017).

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 para a degradação da qualidade do ar local.

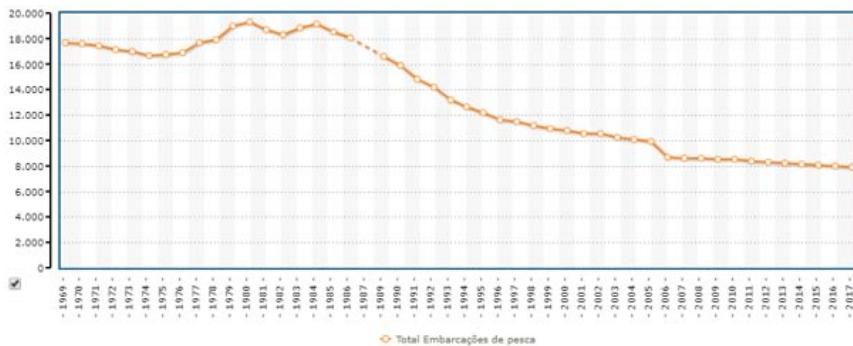


Figura 10: Número de embarcações de pesca licenciadas por ano em Portugal (Pordata, 2019).

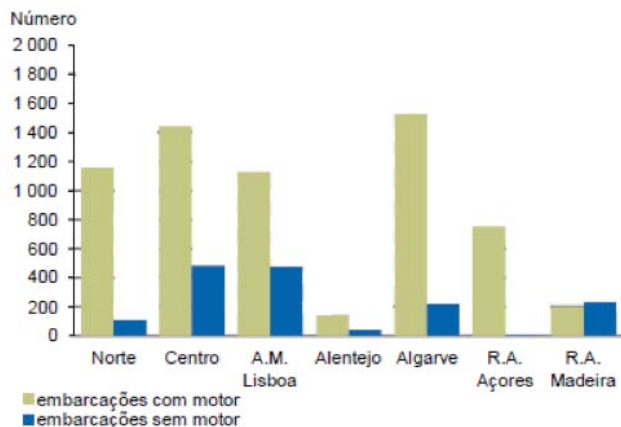


Figura 11: Número de embarcações de pesca com e sem motor em Portugal (INE, 2018).

Para além disso, existem alguns portos que possuem infraestruturas que permitem a receção de navios de passageiros, como é o caso do Porto de Leixões, Lisboa e Portimão e ainda os 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.

Na Tabela 4 é apresentada a listagem de todos os portos marítimos existentes em Portugal Continental

e o tipo de terminais que estes possuem. A região do Algarve engloba os dois portos marítimos existentes nessa região o Porto de Faro e o Porto de Portimão.

## Caso de estudo: porto de leixões

A título de exemplo, será analisado o 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 infraes-

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

Terminais	V.Castelo	Leixões	Aveiro	Fig.Foz	Lisboa	Setúbal	Sines	Algarve
Carga Fracionada/Multiusos	x	x	x	x	x	x	x	x
Contentores		x	x	x	x	x	x	
Granéis Sólidos	x	x	x	x	x	x	x	
Granéis Líquidos	x	x	x		x	x	x	x
Passageiros		x			x			x
Portos de Pesca	x	x	x	x	x	x	x	x
Doca de Recreio	x	x	x	x	x	x	x	x
Carga RO-RO	x	x	x	x	x	x	x	x
Principais operadores na exploração de terminais portuários	Cecisa	TCL	APA	APFF	Liscont	Tersado	CLT	APS
	Galp	TCGL	Socapor	Operfoz	Sotagus	Sadoport	PSA	
	Secil	Petrogal	Prio	Liscont	Silopor	Sapac	Repsol	
		SdL	Aveiport		Tanqui-por	Secil	Portsi-nes	
					E.T.E	Tanqui-sado	REN	
					Sovena		Atlântico	

trutura/material. Este porto foi selecionado por ser um dos maiores de Portugal e apresentar todos os tipos de terminais identificados (Tabela 4).

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, 2017). Ao longo dos anos a APDL alterou o seu modelo de gestão, afastando-se da atividade operacional relacionada com a movimentação das 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 sector 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, 2017).

O Porto de Leixões é constituído por vários terminais dos quais se destacam os seguintes (Figura 12):

- 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 CEPESA- 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.

## Problemas identificados e medidas a adotar

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

Uma das atividades portuárias que desperta maior atenção é o armazenamento, manuseamento e transporte de granéis sólidos, sendo este assunto abordado em Borrego et al (2007) e Sorte et al (2018), onde os autores realizaram uma abordagem semelhante para dar resposta aos problemas existentes em áreas portuárias. Tanto no Porto de Leixões (1º estudo) como no caso do Porto de Aveiro (2º estudo), recorreu-se à modelação física (com recurso a túnel de vento) para definir a melhor posição de uma barreira protetora e da pilha de material em granel, sucata e petcoke, respetivamente. A criação desta barreira protetora foi

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

Cais e Terminais	Problemas Identificados
Problemas Globais	Emissões provenientes dos navios a manobrar e atracados. Emissões de gases de exaustão provenientes do tráfego rodoviário existente no porto e pelos equipamentos utilizados (gruas, tratores)
Cais Convencionais de Carga Geral e Granéis Sólidos (D2N, D4N e D2S)	Manuseamento e transporte de material a granel: - Ressuspensão de partículas; - Dispersão de poeiras (sucata e estilha na D2S, granéis agroalimentares na D4N e granito D2N).
Terminal de Contentores	Emissão de gases de combustão provenientes dos veículos de carga.
Terminal de Petroleiros	Emissões de poluentes atmosféricos e COVs 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.

identificada como uma das principais medidas para minimizar e prevenir os efeitos adversos das operações de armazenamento na vizinhança.

Para além destes problemas já anteriormente identificados e estudados, procedeu-se à identificação de todos os potenciais problemas existentes em cada terminal no Porto de Leixões. Esta identificação foi realizada recorrendo a pesquisa bibliográfica, trabalho de campo, bem como algumas informações fornecidas pela própria APDL.

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

Com o reconhecimento destes problemas, procurou-se 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.

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

Estas medidas foram divididas em boas práticas e medidas estruturais, sendo que foram identificadas 27 boas práticas e 29 medidas estruturais. Todas as medidas selecionadas e propostas, para cada infraestrutura (cais/terminal) do porto, encontram-se presentes na Tabela 6.

É de referir que algumas destas medidas já estão implementadas no Porto de Leixões como por exemplo a altura das pilhas de sucata e de estilha, bem como a altura da descarga das mercadorias.



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

Cais/Terminal	Boas Práticas	Medidas Estruturais
1. Cais de Carga Geral e Granéis Sólidos (D2S e D2N)	Transportar os graneis sólidos em camiões e comboios fechados	Instalar no cais uma manga de vento visível em todo o cais
	Lavar rodas e laterais dos camiões	Aumentar o teor de humidade dos graneis usando canhões de água
	Lavar as estradas pavimentadas	Posicionar os canhões de água em função da direção do vento durante o manuseamento das mercadorias (ex. sucata, estilha)
	Diminuir a altura a que os graneis sólidos são largados nas operações de carga/ descarga	Uso de barreiras e corta-ventos, na zona da pilha de vidro (D2N)
	Não realizar qualquer tipo de operação de carga ou descarga quando as condições atmosféricas forem desfavoráveis	Alterar a posição e dimensão da pilha de vidro
	Definir o período de operação em função da previsão meteorológica	Utilizar pinças de carga ou garras nas gruas
	Restringir a velocidade nas estradas (medida já implementada no Porto Leixões)	Utilizar bandas transportadoras para efectuar o processo de descarga de graneis do navio para o local de armazenamento
	Aumentar as áreas verdes em redor do cais (medida já implementada no Porto Leixões)	Construir infraestruturas para cobrir os graneis armazenados (ex: Hangares, Domes)
	Reduzir o tempo de armazenamento das pilhas de sucatas, estilha e vidro	
	Descarregar a pilha de sucata mais próximo da barreira de contentores e definir a sua dimensão máxima (caso não esteja ainda pré-definida) e localização	
	Inspeccionar regularmente os equipamentos utilizados nas operações (ex: Gruas, Canhões de água)	
Molhar a pedra antes de ser descarregada dos camiões para o cais (ex: pórtico de molha)		
Alterar os processos de movimentação de pedra e de vidro (ex: apenas movimentar esta carga acondicionada em sacos, caixas)		
2. Instalações Especializadas (Silos/D4N)	Banir a marcha lenta	Substituir o meio de transporte das mercadorias (ex: optar pelo transporte ferroviário)
	Substituir o tipo de combustível utilizado nos camiões (ex: usar GPL)	Utilizar um sistema pipelines ou tapetes rolantes para transportar o material do navio para o local de armazenamento
3. Terminal de Contentores Sul	Desligar os camiões enquanto estão em fila de espera	Definir a altura máxima de contentores em altura em cada parque
	Banir a marcha lenta	Alterar a disposição dos contentores do TCS
	Criar um sistema de marcação de horário, para evitar o congestionamento no carregamento dos camiões	Criar uma zona de espera para os camiões
	Estender o horário de funcionamento do terminal, para diminuir o congestionamento e emissões nas horas de ponta	Utilizar tecnologias de automação, para ver o decorrer das operações em tempo real, de modo a fluir melhor o processo de carga dos camiões
	Banir a entrada de camiões antigos ("mais poluidores") no terminal e, de preferência, a todo o porto	Sub contratar camiões para o transporte interno das mercadorias que utilizem combustíveis alternativos (ex: Camiões eléctricos)
4. Terminal RO-RO	Criação de um sistema de controlo de tráfego	Instalar um sistema automático de atracação

5. Medidas Globais	Aplicar a técnica "slow steaming"	Substituir os motores auxiliares por energia armazenada no navio (ex: um contentor com baterias)
	Desligar os motores enquanto o navio está atracado	Utilizar Scrubbers (dispositivos purificadores de gases)
	Criar zonas de velocidade reduzida para os navios dentro do porto	Utilizar como combustível GNL (Gás Natural Liquefeito)
		Utilizar tecnologia de redução catalítica seletiva no navio
		Utilizar filtros de partículas
		Investir em infraestruturas para fornecer combustíveis alternativos
		Utilizar combustíveis mais limpos, de modo a substituir o gasóleo colorido (embarcações pescatórias)
		Utilizar a técnica de injeção de hidrogénio no combustível utilizado pelos equipamentos (diesel)*
		Criar infraestruturas para a utilização do shore power (desligar os motores principais e auxiliares do navio quando atracado e realizar a conexão à rede eléctrica do porto)
		Utilizar motores híbridos ou elétricos em todos os equipamentos não rodoviários ( Gruas, tratores)*
6. Terminal de Cruzeiros	Implementar áreas verdes no terminal	
	Monitorização da qualidade do ar nas áreas mais frequentadas pela população (ex: com recurso a sensores)	
7. Terminal de Petroleiros	Inspeccionar os equipamentos usados para as operações de carga/descarga	Implementar procedimentos de drenagem de linha
	Inspeccionar as conexões de carga/descarga dos oleodutos	
		Instalar mangueiras autovedantes, na zona de descarga dos navios
8. Cais de Movimentação de Granéis Líquidos ( D2S)	Inspeccionar as conexões de carga/descarga dos oleodutos	Instalar sistemas de recuperação de vapor no processo de transferência do produto para os tanques de granéis líquidos
	Inspeccionar regularmente e testar os sensores de nível de líquido e os alarmes sonoros dos tanques de armazenamento	

## 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 que visou avaliar o impacto 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 elaborado 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 reduza a dispersão e o transporte do material particulado. A implementação desta medida requer o conhecimento das condições meteorológicas dominantes e críticas, bem como a realização de estudos de modelação da

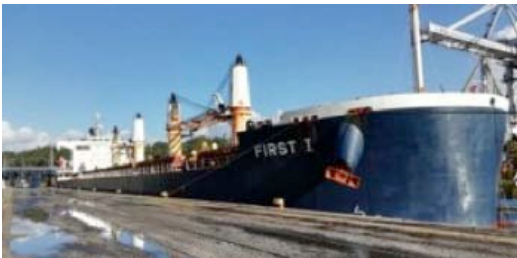
dispersão atmosférica, quer de simulação física (em túnel de vento) ou numérica (modelos computacionais) para perceber qual a melhor posição da barreira para a sua eficácia máxima (Borrego et al, 2007).

Outras medidas possíveis seriam cobrir todo o material de granito com uma lona ou construir infraestruturas capazes de cobrir 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 da escolha da utilização de uma lona protetora seria necessário estudar qual o tipo de material mais apropriado a utilizar.

Ainda nos Cais de Carga Geral e Granéis Sólidos, um dos pontos que deveria ser modificado, é o procedimento de descarga dos 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 utilizam combustíveis fósseis, o que aumenta significativamente as emissões de gases poluentes no cais. Uma possível solução seria a introdução de uma banda transportadora elétrica para substituir este equipamento, eliminando as emissões provenientes destes processos. No entanto, a implementação desta solução, apesar dos benefícios que traz para a melhoria da qualidade do ar nesta zona em específico, iria requerer de um elevado inves-

timento uma vez que teria que estar ligada à rede de distribuição de energia elétrica do porto, necessitando de uma adaptação das infraestruturas dos cais para que pudesse fornecer a quantidade de energia suficiente para o transporte do material em granel para o local de armazenamento.

## 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.

## Terminal de Contentores Sul



Uma das áreas de um porto marítimo que atrai 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.

Nos terminais de contentores existe uma grande afluência de transporte rodoviário, predominantemente camiões, sendo que este movimento gera principalmente problemas de congestionamento à entrada e à saída do terminal (Maguire et al, 2010).

Uma das medidas com maior destaque devido à sua contribuição para atingir o objetivo proposto, e direcionada para o terminal de contentores, compreende 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 Iorque e Nova Jersey (EPA, 2018). Esta medida encontra-se em prática desde de 2017 nestes dois portos, tendo passado por várias fases nomeadamente ao horário disponível para a marcação dos camiões na recolha da mercadoria (inicialmente um horário definido entre as 6 e as 8 horas da manhã, e depois estendido para das 6 às 13 horas nos dias úteis). Com esta me-

didada foi estimada uma redução nas emissões de CO<sub>2</sub> 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 o padrão de chegada dos camiões ao terminal, bem como 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 as 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 Geórgia 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 já foi implementada

no Porto de Roterdão, onde apenas camiões que se encontrem na categoria EURO V e VI são permitidos entrar no porto (NABU, 2015). Outro porto onde esta medida está 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 de camiões que utilizem combustíveis mais limpos, como por exemplo o gás natural comprimido, o gás natural líquido ou 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 são exemplos de medidas já testadas, com recurso a equipamentos experimentais de túnel de vento, de modo a compreender o efeito que a posição dos contentores e a direção do vento possuem na acumulação de gases poluentes para uma área específica do porto. Neste tipo de estudos é vulgar a realização de ensaios/simulações de diferentes cenários, de modo a estudar a melhor configuração, disposição e número de contentores, tendo em conta a direção e velocidade predominante do vento na área de estudo.

No terminal de contentores existe ainda a possibilidade de se utilizarem tecnologias de automação para dar resposta ao aumento do tráfego 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).

## Terminal RO-RO



Outra medida que merece algum destaque, encontra-se direcionada para os terminais 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 os cabos, diminuindo assim as emissões de poluentes associados a estas operações (Díaz-Ruiz-Navamuel et al, 2018). Este sistema já foi implementado na Nova Zelândia e estima-se que este sistema reduz em cerca de 97% as emissões de CO<sub>2</sub> provenientes dos navios durante o processo de atracação (Díaz-Ruiz-Navamuel et al, 2018).

## 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 o Porto de Oslo (Han, 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 uma infraestrutura fixa ligada à rede de distribuição nacional, para a qual é necessária 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 de eletricidade e o facto de nem todos os portos terem as infraestruturas necessárias para que este tipo de fonte de energia seja aplicado.

Outra opção 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 hidrogênio puro e os hidrocarbonetos, como o gás natural e o gasóleo. Para 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 elevados custos de investimento (Seddiek et al, 2013). No caso de Leixões, poderia ser um entrave à navegação em alguns locais do porto, como por exemplo no canal entre o terminal de contentores sul e a Doca 4 Norte.

Para além disso, o "Shore Power" é uma medida que requer 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, aliada à criação de zonas de redução de velocidade dos navios dentro do porto, resultava numa redução de emissões de NOx na ordem dos 15% (López-Aparicio et al, 2017).

A Figura 13, mostra as várias formas possíveis de fornecer energia ao navio a partir do porto, descritas anteriormente.

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 NOx (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, recomenda-se o 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 restringidos aos navios de grande porte, mas devem também ser pensadas para as pequenas embarcações de pesca e reboques, de modo a reduzir as emissões atmosféricas associadas. Será importante e 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 NOx e CO<sub>2</sub> até 23% e 17% respetivamente (López-Aparicio et al, 2017).

Relativamente aos rebocadores, um tipo de embarcações existente em todos os portos marítimos comerciais, que têm como função guiar os navios de mercadoria até ao terminal onde este irá ser atracado ou abastecer navios próximos da entrada do porto, uma medida a aplicar seria a colocação de contentores baterias 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).

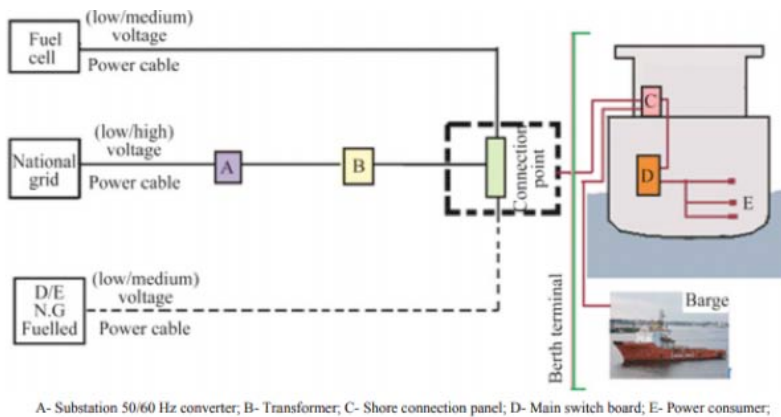


Figura 13: Fontes de energia possíveis para a implementação do "Shore Power" (Seddiek et al, 2013).

Relativamente ao equipamento necessário para suportar as várias operações portuárias, como gruas e tratores, todos utilizam motores a diesel, constituindo também um problema em termos de poluição do ar. Uma das formas para reduzir as emissões atmosféricas associadas a estes equipamentos, passa pela utilização de um sistema de motores híbridos que permitem 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 NOx em 19% e de PM em 85% (NABU, 2015).





## IV. ESTRATÉGIAS/LINHAS ORIENTADORAS À ESCALA NACIONAL

---

### O 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 identificar e caracterizar 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 associados. 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.

A identificação da principal rota marítima que atravessa o espaço marítimo português, assim como os tipos de navios que lá navegam, são informações importantes na estimativa das emissões atmosféricas e seu impacto na qualidade do ar. Em Portugal, são os navios de contentores os responsáveis pela maior fração da frota que navega nas rotas marítimas (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 impactos na qualidade do ar em Portugal.

### Medidas/ Estratégias Mitigadoras

Como já mencionado, o setor marítimo tem vindo a sofrer algumas alterações a nível regulamentar, compreendendo a introdução de estratégias mitigadoras para reduzir a quantidade de poluentes atmosféricos emitidos (Halff et al, 2019). Estas estratégias, impostas 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).

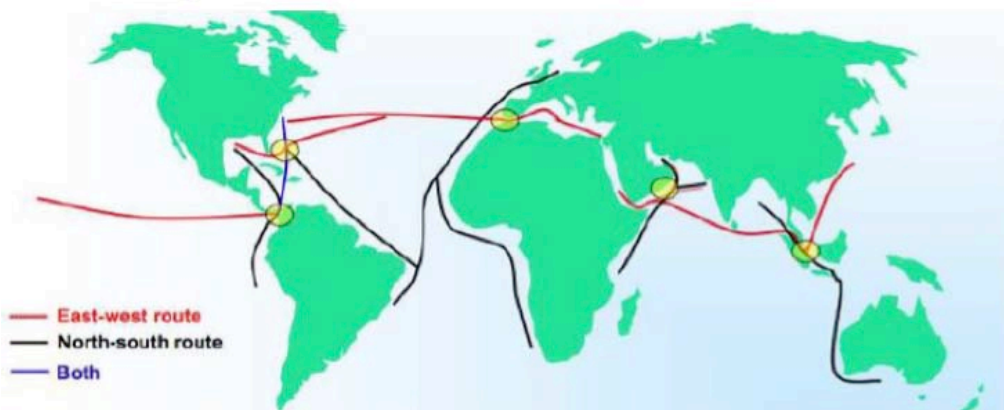


Figura 14: Principais rotas marítimas (ADC, 2015).

Para além destas exigências europeias, existem outras medidas/estratégias mitigadoras a serem implementadas especificamente a navios, estando estas divididas em:

- Medidas Organizacionais;
- Uso de combustíveis alternativos;
- Técnicas Operacionais;
- Medidas de melhoria da eficiência energética

Estas medidas apresentam-se, em detalhe, de seguida.

### Medidas Organizacionais/ Slow Steaming

Uma das medidas organizacionais existentes e utilizada pelas maiores empresas de navios de carga mundiais designa-se por "Slow Steaming" e consiste numa técnica que promove a redução da velocidade dos navios enquanto estes estão em operação através da redução das rotações por minuto do motor. Trata-se de 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<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> e CO<sub>2</sub> (estima-se que com uma redução de cerca de 10% da velocidade do navio é possível reduzir até 15% as emissões do navio (Cariou, 2011));
- 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, uma vez que é importante que estas formas sejam apenas aplicadas no caso dos motores convencionais. Mais informação e detalhe sobre cada uma das formas consultar Marine Insight (2012).

Como já referido, esta técnica é bastante utilizada pelas empresas de navios que transportam carga contentorizada, o que é bastante interessante para o caso do transporte marítimo português, sendo que a maior companhia do mundo Maersk utiliza o "Slow Steaming" de forma satisfatória desde 2007, conseguindo atingir um 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 (Corbett 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).

## Uso de Combustíveis alternativos

Outra estratégia que pode ser utilizada para diminuir as emissões dos navios (entre outras embarcações) compreende a utilização de combustíveis alternativos, de modo a diminuir 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 Marítimo (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), fazendo com 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 marinho, 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, diferindo apenas na quantidade de gasóleo presente;
- Óleo Combustível Pesado (OCP), o tipo de combustível mais utilizado no setor marítimo com motores a baixa velocidade. Apresenta um elevado grau de viscosidade e requer um pré-aquecimento antes de utilizado, uma vez que se trata de um óleo residual (Noor et al, 2018).

Um das opções mais comuns e discutidas para o uso de combustível alternativo é o gás natural líquido, com um maior número de estudos, devido sobretudo às inúmeras vantagens que traz para a redução de emissões atmosféricas. Esta alternativa permite que as emissões de SO<sub>x</sub> e PM sejam reduzidas até 99%, NO<sub>x</sub> até 80% e CO<sub>2</sub> até 20%, dependendo estes valores do tipo de navio em causa (NABU, 2015). No entanto, existem alguns fatores que levantam questões sobre a utilização deste tipo de combustível, sendo o primeiro o aumento das emissões de metano para a atmosfera como associado à utilização deste combustível. A emissão deste gás de efeito estufa para atmosfera traz inúmeros problemas, sendo que a longo prazo os impactos da emissão do metano pode ultrapassar os impactos causados pelo dióxido de carbono (NABU, 2015). O segundo fator negativo deste 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 líquido tem sido nos últimos tempos a alternativa mais aceite e usada, existindo já navios de contentores a utilizar este tipo de combustível desde de 2015 (NABU, 2015).

Hua et al (2017) estudou casos de estudo nas regiões da China e Taiwan, e verificou a diminuição das emissões atmosféricas, tanto GEE como gases de exaustão, estimada com a utilização do gás natural líquido em comparação com o óleo combustível pesado. Este estudo conclui que o GNL traz inúmeras vantagens na redução das emissões, em particular para o NO<sub>x</sub>, com reduções de 38% para NO<sub>x</sub> e 42% para CO e com os resultados ainda mais expressivos nas emissões de SO<sub>2</sub>, com reduções de 99,8% e 97,5% para PM10. Usando o GNL como energia de propulsão o autor conclui que as emissões de SO<sub>2</sub> eram reduzidas entre 24 a 50%.

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

	Tipo de Combustível		
	Metanol	GNL	Hidrogénio
Emissões de CO <sub>2</sub>			
Emissões de NOx			
Emissões de SOx			
Emissões de CO			
Emissões de PM			

Outro tipo de combustível alternativo que pode ser utilizado é o metanol, com alguns estudos já realizados a mostrar que a sua utilização como combustível marinho permitiria reduzir as emissões SO<sub>2</sub> em 99%, NOx em 60%, material particulado em 95% e CO<sub>2</sub> em 25%, comparativamente aos combustíveis marinhos mais utilizados (NABU, 2015). Contudo o metano não consegue substituir de forma direta os combustíveis de origem fóssil, especialmente devido ao facto das altas temperaturas que são necessárias para a sua autoignição. Existem, no entanto, 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 do combustível marinho, existindo dois métodos possíveis para que este seja realizado (ver mais detalhe em Deniz e Zincir, 2016).

Existem ainda mais opções para além das apresentadas acima, como é o caso do Hidrogénio, que para além de ser uma forma de energia 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 esta limitação que passa 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 energéti-

co. Outra razão, que faz com o hidrogénio não seja uma solução viável é o facto de este não poder ser utilizado como combustível principal, sendo que a melhor forma de o utilizar é misturado com o diesel marinho através da sua injeção no motor, tal como no caso do metanol (Deniz e Zincir, 2016).

De salientar ainda, que a diminuição de NOx 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).

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 associadas. 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).

Na Tabela 7 encontram-se sumariadas, de uma forma qualitativa, as contribuições na redução as emissões dos três tipos de combustíveis alternativos acima apresentados, onde a cor verde representa uma potencial redução e o vermelho um potencial de aumento da emissão desse poluente.

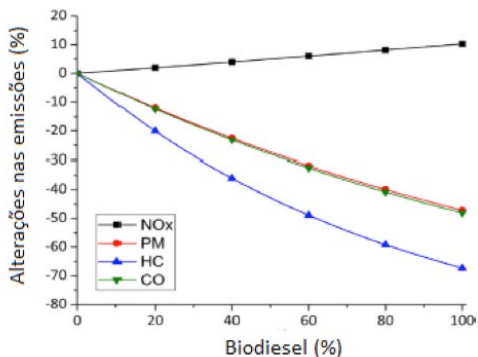


Figura 15: Relação entre o teor de biodiesel e as emissões associadas (Noor et al, 2018).

Mais recentemente, surgiu um novo tipo de combustível alternativo, mais precisamente o biodiesel que consiste em ésteres monoalcalinos de cadeia longa provenientes de fontes de gordura renováveis com 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 facto deste conseguir reduzir gases poluentes, mais propriamente gases de 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 como todos os combustíveis alternativos, existem algumas limitações associadas, sendo a principal o aumento das emissões de NOx, em pelo menos mais 10% relativamente à utilização dos combustíveis tradicionais (Noor et al, 2018).

Na Figura 15, é possível constatar que quanto maior for o teor em percentagem de biodiesel presente maior é a emissão de NOx (relativamente aos restantes gases poluentes que 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 SOx 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 SOx 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).

Tendo em conta todas as opções de combustíveis alternativos apresentados, é possível observar que a melhor opção poderia passar pela utilização do gás natural líquido, devido à sua contribuição para diminuir as emissões provenientes pelo transporte marítimo e, pelo facto 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 contantes diminuindo

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

Tecnologia	Redução de NOx (%)	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

as emissões e ainda o consumo de combustível. No entanto, os motores híbridos têm sido apenas instalados, por enquanto, em navios mais pequenos, como Ferrys, sendo necessário um maior número de estudos para o total 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).

## Técnicas Operacionais

As técnicas operacionais são geralmente específicas para cada tipo de poluente.

No caso do NOx 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).

Outra medida utilizada compreende o uso de motor a ar húmido, uma vez que a forma 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 NOx em NO<sub>2</sub> 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 para reduzir a emissão deste tipo de poluente atmosférico consiste na recirculação dos gases de exaustão permitindo assim uma diminuição das emissões de NOx. 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 sua esperança de vida do equipamento.

Esta tabela mostra que, em termos de potencial para reduzir as emissões de óxido de azoto (NOx), 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.

Tabela 9: Técnicas conhecidas para reduzir as emissões de SO<sub>x</sub> e as suas vantagens e desvantagens (Yang et al, 2012).

Técnicas de redução de SO <sub>x</sub>	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 <sub>x</sub> 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 para a instalação.

Os óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) são outro poluente com especial atenção no transporte marítimo, quer em termos de regulação, quer na importância relativa deste setor nas emissões totais deste composto, e para o qual têm sido adotadas estratégias específicas (Ren e Lutzen, 2017). Uma das mais vulgarizadas é a diminuição da emissão de SO<sub>x</sub> através da utilização de combustíveis com baixo teor de enxofre. Em resumo, isto 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 a uma redução de 18% de SO<sub>x</sub> e 80% de material particulado; e a segunda na 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<sub>x</sub> aumenta para os 90%, sendo de 80% para o material particulado (Han, 2010).

Outra medida consiste na aplicação de um dispositivo de limpeza de gases de exaustão, denominado Scrubber

(sistema lavador de gases). Estes dispositivos possuem a capacidade de reduzir as emissões de SO<sub>2</sub> entre os 70% e os 95 %, para além de conseguirem também reduzir as emissões de PM e NO<sub>x</sub> (NABU, 2015). Existem duas principais formas de instalação desta 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 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, o qual pode conter substâncias tóxicas como hidrocarbonetos e metais pesados, que vão contaminar o ambiente marinho, sendo, por isso, esta uma medida que se encontra em discussão internacional (NABU, 2015).

Na Tabela 9 estão descritas todas as medidas de redução de SO<sub>x</sub>, estando ainda sumariadas as vantagens e as desvantagens de cada uma.

Esta tabela permite analisar e aferir as opções mais adequadas, sendo a preferencial 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 existe a possibilidade de utilizar combustíveis alternativos em conjunto com esta técnica o que pode permitir uma maior redução não só do óxido de enxofre mas também de outros poluentes atmosféricos.

A possibilidade de se utilizar sistemas de limpeza de gases de exaustão possui inúmeras vantagens em relação às outras medidas, pois com a utilização destes tornar-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 libertação deste produto.

## **Melhoria da Eficiência energética**

Outra forma de redução das emissões atmosféricas associadas ao transporte marítimo passa pelo melhoramento da eficiência energética dos navios, a qual pode ser realizada de diversas formas. Uma dessas formas envolve 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).





## COMENTÁRIOS FINAIS

---

O aumento do transporte marítimo ao longo dos últimos anos tem atraído uma enorme atenção por parte de várias organizações internacionais. Estima-se que cerca de 90% do transporte de mercadorias é realizada 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 a este transporte marítimo, com atividades específicas associadas que também contribuem para a degradação da qualidade do ar local, sendo por isso necessário encontrar estratégias e medidas para reduzir as emissões provenientes tanto destas áreas portuárias como do transporte marítimo.

Foi neste enquadramento que surgiu o projeto de investigação AIRSHIP - Impacto das emissões do transporte marítimo e portuário na qualidade do ar em Portugal: cenários presente e futuro ([www.airship.web.ua.pt](http://www.airship.web.ua.pt)) - cujo objetivo é a avaliação do impacto das emissões marítimas e portuárias na qualidade do ar, e consequente identificação de estratégias mitigadoras para reduzir o impacto destas emissões, promovendo uma melhor gestão e proteção da qualidade do ar. O presente documento pretende dar resposta ao último

desafio de identificação e seleção de medidas/estratégias mitigadoras da poluição do ar associada às atividades portuárias e ao transporte marítimo.

À escala local/ portuária foi usado como caso de estudo o Porto de Leixões, um dos maiores portos no panorama nacional, sendo o segundo maior porto comercial e, a par com o Porto de Lisboa, um dos únicos que possui todo o tipo de infraestruturas (cais/terminais) que podem estar presentes num porto marítimo. A identificação dos potenciais problemas existentes em cada uma das diferentes infraestruturas e operações portuárias foi realizada com recurso a pesquisa bibliográfica, trabalho de campo exploratório no Porto de Leixões e reuniões com a Administração Portuária.

Na primeira parte deste trabalho de pesquisa foi identificado um conjunto de potenciais atividades emissoras de poluentes atmosféricos com impacto na qualidade do ar do porto e área envolvente.

Para cada uma das atividades identificadas, foi possível definir um conjunto de medidas mitigadoras que permitem reduzir o impacto das emissões atmosféricas portuárias, promovendo assim a melhoria a qua-

lidade do ar na área do porto e sua envolvente. Estas medidas encontram-se divididas em boas práticas e medidas estruturais, tendo sido apresentado um conjunto de medidas para cada infraestrutura portuária (cais/terminal).

No Terminal de Carga Geral e Granéis Sólidos as medidas a implementar deverão incidir na alteração dos processos de descarga e transporte do material a granel. Para o material de estilha e sucata é adequado o uso de bandas transportadoras e para o material de granito sugere-se o acondicionamento em caixas ou sacos. Outra medida selecionada para este tipo de terminal, passa pela construção de infraestruturas que protejam o material armazenado e reduzam a sua dispersão pela ação do vento.

Para o Terminal de Contentores, sugere-se que uma das medidas com maior aceitação e sucesso na implementação compreende a criação de um sistema de marcação de horário dos camiões que realizam o transporte para dentro e fora do porto, existindo, no entanto, outras medidas passíveis de implementação conjunta, aumentando a sua eficácia de mitigação.

Os Terminais de Carga Geral e Granéis Sólidos e Terminal de Contentores Sul foram já alvo de estudos anteriores no sentido de resolver problemas associados ao armazenamento de material a granel, nomeadamente relativos à emissão de material particulado. As medidas identificadas compreenderam a criação de uma barreira física (usando, por exemplo, contentores) que reduza a emissão e dispersão destas partículas, devendo o seu tamanho e localização serem resultado de estudos científicos.

Outras estratégias de cariz mais global incluem a criação de infraestruturas para o fornecimento de combustíveis alternativos e/ou a implementação do "Shore Power" (já usado e testado em diferentes portos marítimos). Existem ainda outras medidas identificadas/

sugeridas como a utilização de equipamentos movidos a energias alternativas e a utilização de rebocadores equipados a contentores de baterias. De realçar, que a utilização deste caso de estudo pretende ser uma referência a nível nacional, com as medidas apresentadas a servir de base para solucionar problemas semelhantes existentes nos portos comerciais em Portugal.

Em relação ao transporte marítimo em Portugal, foi sustentado com valores estatísticos a sua atual grande expressão, sendo um dos principais tipos de transporte de mercadorias utilizado no país. As principais estratégias mitigadoras identificadas encontram-se divididas por 4 grandes tipos: (i) medidas organizacionais, (ii) utilização de combustíveis alternativos, (iii) melhoria de eficiência energética e ainda (iv) operações técnicas que permitem reduzir as emissões de um poluente específico.

No caso das medidas organizacionais, identifica-se a aplicação do "Slow Steaming" como uma das melhores medidas a implementar, encontrando-se já em prática para os navios de contentores em diversos portos marítimos, mas sendo possível alargar esta técnica a outros tipos de navios.

Em termos de combustíveis alternativos, sugere-se a utilização de gás natural líquido, uma vez que é o tipo de combustível alternativo que possui melhores resultados na diminuição dos principais poluentes atmosféricos associados ao transporte marítimo.

Em relação às técnicas operacionais específicas para um tipo de poluente, a pesquisa mostra que para reduzir as emissões de NOx as melhores opções compreendem 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 SOx, as melhores opções passam pela utilização de combustíveis com baixo teor de enxofre na sua composição, sendo esta uma estratégia já utilizada

na regulamentação existente; a utilização do tanque segregado ou ainda a utilização de "Scubbers", sendo que esta última opção, apesar do grande contributo para reduzir a emissão deste poluente atmosférico, traz outro tipo de problemas, nomeadamente em termos de poluição marítima.

A listagem de medidas e estratégias identificadas é vasta, uma vez que este documento pretende ser um guia completo de suporte e boas práticas à gestão portuária e marítima. A seleção das melhores e mais eficientes medidas a implementar deverá, no entanto, implicar a realização de estudos científicos detalhados, de preferência com recurso à modelação numérica e física, de modo a poderem-se testar diferentes cenários (em termos de medidas mitigadoras apresentadas) e avaliar a sua eficácia na mitigação das emissões atmosféricas e seu impacto na qualidade do ar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- AdC. (2015). Estudo sobre a Concorrência no Setor Portuário. Disponível em: [www.concorrencia.pt](http://www.concorrencia.pt)
- AdC. (2018). Estudo sobre a Concorrência no Setor Portuário. Disponível em: [www.concorrencia.pt](http://www.concorrencia.pt)
- Anturri, J., Hänninen, O., Jalkanen, J.P., Johansson, L., Prank, M., Sofiev, M., Ollikainen, M., 2016. Cost and benefits of low-sulphur fuel standard for Baltic Sea shipping. *Journal of Environmental Management* 184, 431-440. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.064>
- APDL, 2017
- 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* 59, 223-236. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.12.014>
- Borrego, C., Costa, A.M., Amorim, J.H., Santos, P., Sardo, J., Lopes, M., Miranda, A.I., 2007. Air quality impact due to scrap-metal handling on a sea port: A wind tunnel experiment. *Atmospheric Environment* 41, 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* 16, 260-264. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2010.12.005>
- Chen, D., Tian, X., Lan, J., Zhou, Y., Li, Y., Gui, X., Wang, W., 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* 14, 593-598. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2009.08.005>
- Deniz, C., Zincir, B., 2016. Environmental and economical assessment of alternative marine fuels. *Journal of Cleaner Production* 113, 438-449. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.089>
- Díaz-Ruiz-Navamuel, E., Piris, A.O., Pérez-Labajos, C.A., 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>
- Dragović, B., Tzannatos, E., Tselentis, V., Meštrović, R., Škurić, M., 2018. Ship emissions and their externalities in cruise ports. *Transportation Research Part D* 61, 289-300. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.11.007>
- 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]
- 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>
- Han, C-h., 2010. Strategies to Reduce Air Pollution in Shipping Industry. *The Asian Journal of Shipping and Logistics* 26, 7-29. [https://doi.org/10.1016/S2092-5212\(10\)80009-4](https://doi.org/10.1016/S2092-5212(10)80009-4)
- Hua, J., Wu, Y., Chen, H., 2017. Alternative fuel for sustainable shipping across the Taiwan Strait. *Transportation Research Part D* 52, 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](http://www.imo.org)
- IMO, 2019. Organização Internacional Marítima. Disponível em: [www.imo.org](http://www.imo.org) [Acedido em 25/03/2019]
- INE, 2017. Estatísticas da Pesca - 2017. Disponível em: [www.ine.pt](http://www.ine.pt)
- Jalkanen, J.-P., Brink, A., Kalli, J., Pettersson, H., Kukkonen, J., Stipa, T., 2009. A modelling system for the exhaust emissions of marine traffic and

its application in the Baltic Sea area. *Atmospheric Chemistry and Physics* 9, 9209-9223. <https://doi.org/10.5194/acp-9-9209-2009>

Kozarev, N., Stoyanov, S., Ilieva, N., 2014. Air pollution in port areas. <https://www.researchgate.net/publication/266875796>

Ledoux, F., Roche, C., Cazier, F., Beaugard, C., Courcot, D., 2018. Influence of ship emissions on NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> 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>

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

López-Aparicio, S., Tønnesen, D., Thanh, T.N., Nielson, H., 2017. Shipping emissions in a Nordic Port: Assessment of mitigation strategies. *Transportation Research Part D* 53, 205-216. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.04.021>

Maguire, A., Ivey, S., Golias, M.M., Lipinski, M.E., 2010. Relieving congestion at intermodal marine container terminals: Review of tactical/operational strategies. 51st Annual Transportation Research Forum, Arlington, Virginia, March 11-13.

Marine Insight, 2012. The Guide to Slow Steaming on Ships. Disponível em: [www.marineinsight.com](http://www.marineinsight.com)

Merico, E., Donato, A., Gambaro, A., Cesari, D., Gregoris, E., Barbaro, E., Dinoi, A., Giovanelli, G., Masieri, S., 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. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.05.024>

Monteiro, A., Russo, M., Gama, C., Borrego, C., 2018. How important are maritime emissions for the air quality: At European and national scale. *Environmental Pollution* 242, 565-575. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.011>

MOPTC, 2006. Orientações Estratégicas para o Setor Marítimo Português. Disponível em: [www.ordemdosengenheiros.pt](http://www.ordemdosengenheiros.pt)

NABU, 2015. Clean Air in Ports. Berlin, Germany: German Nature and Biodiversity Conservation Union.

Nielsen e Enger, 2015 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.M., 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, 1370-1379. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.08.112>

Ren, J., Lützen, M., 2017. Selection of sustainable alternative energy source for shipping: Multi-criteria decision making under incomplete information. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 74, 1003-1019. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.057>

Russo, M.A., Leitão, J., Gama, C., Ferreira, J., Monteiro, A., 2018. Shipping emissions over Europe: A state-of-the-art and comparative analysis. *Atmospheric Environment* 177, 187-194. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.01.025>

Sardinha, A., 2013. Poluição e o Transporte Marítimo. Coleção Mar fundamental. Disponível em: <https://transportemaritimoglobal.files.wordpress.com>

Seddiek, I.S., Elgohary, M.M., 2014. Ecofriendly selection of ship emissions reduction strategies with emphasis on SO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub> emissions. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering* 6, 737-748. <https://doi.org/10.2478/IJNAOE-2013-0209>

Seddiq, I.S., Mosleh, M.A., Banawan, A.A., 2013. 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. <https://doi.org/10.1007/s11804-013-1218-6>

Sorte, S., Lopes, M., Rodrigues, V., Leitão, J., Monteiro, A., Ginja, J., Coutinho, M., Borrego, C., 2018. Measures to reduce air pollution caused by fugitive dust emissions from harbour activities. *International Journal of Environmental Impacts* 1, 115-126. <https://doi.org/10.2495/EI-V1-N2-115-126>

Tichavska, M., Tovar, B., Gritsenko, D., Johansson, J., Jalkaken, J.P., 2019. Air emissions from ships in port: Does regulation make a difference? *Transport Policy* 75, 128-140. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.03.003>

Viana, M., Hammingh, P., Colette, A., Querol, X., Degraeuwe, B., Vlieger, I., van Aardenn, J., 2014. Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe. *Atmospheric Environment* 90, 96-105. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.03.046>

Yang, Z.L., Zhang, D., Caglayan, O., Jenkison, I.D., Bonsall, S., Wang, J., Huang, M., Yan, X.P., 2012. Selection of techniques for reducing shipping NOx and SOx emissions. *Transportation Research Part D* 17, 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. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.83>



Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA  
Fundo Europeu  
de Desenvolvimento Regional

**FCT** Fundação para a Ciência e a Tecnologia  
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR