

# AS MUDANÇAS NA INDÚSTRIA MARÍTIMA E O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

Ederaldo Godoy Junior<sup>1</sup>  
José Barbosa da Silva Filho<sup>2</sup>  
Andre Gonçalves de Lima<sup>3</sup>

## RESUMO

---

O objetivo deste trabalho é discorrer os desafios presentes dentro da indústria marítima a partir de 2020, como uma oportunidade para expandir o desenvolvimento tecnológico, bem como quais ações e medidas podem ser adotadas para conciliar os desafios do almejado controle ambiental atrelado à alta eficiência das atividades desempenhadas por essa indústria. Os métodos utilizados foram pesquisa bibliográfica de caráter qualitativo com uma abordagem exploratória. Os resultados relatados permitem concluir que a conciliação de tecnologias, junto a revisão por parte da IMO e esforços envidados às instalações portuárias para o controle de emissão de poluentes são as melhores linhas de ação a serem tomadas para conciliar as divergências presentes no cenário atual combinado ao controle ambiental.

**Palavras-chave:** Óxido de Enxofre. Óxido de Nitrogênio. Gases de efeito estufa. Emissão de poluentes.

---

<sup>1</sup> Doutor. Universidade de Taubaté (UNITAU). São Paulo (SP), Brasil. E-mail: godoyjr17@gmail.com / Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-7375-7096>

<sup>2</sup> Doutorando. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro (RJ), Brasil. E-mail: josebarbosa@ufrj.br / Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-5961-8548>

<sup>3</sup> Graduado. Centro de Instrução Almirante Graça Aranha (CIAGA). Rio das Ostras (RJ). E-mail: andremanocg@gmail.com / Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-0097-5812>

## INTRODUÇÃO

As atividades desempenhadas pela indústria marítima<sup>4</sup> movimentam diversos segmentos em escala global transportando mais de 80% de todas as cargas e produtos em todo mundo (LINDSTAD e colab., 2015; IMO, 2009; SMITH e colab., 2014). Sua alta eficiência e seu baixo custo são diferenciais atrativos comparados a outros modais. Porém, a partir de 2020 as novas normas implantadas serão determinantes para seu futuro (GILBERT, 2014), uma vez que a crescente busca por atividades ecologicamente sustentáveis vêm trazendo mudanças dentro das indústrias e consequentes diversificações de investimentos em novas técnicas e tecnologias que proporcionem a conciliação de sustentabilidade com eficiência (LARKIN e colab., 2017; WALSH e colab., 2017).

O processo de globalização e os decorrentes acordos comerciais nacionais e internacionais impulsionam um aumento na produtividade em diversos setores da sociedade e da economia uma vez que estes acordos são firmados visando interesses comuns das partes envolvidas. Este impulso para uma maior produtividade dá-se em decorrência da necessidade de produtos ou serviços específicos; i.e. a maior necessidade de consumir tais produtos ou serviços, demanda uma produção maior dos mesmos; ou seja, com mais produtos, insumos e matérias primas sendo consumidos, o transporte destes também aumenta, o que, por conseguinte, eleva o índice de atividades da indústria marítima (CRIST, 2009; LINDSTAD e colab., 2012; LLOYD'S REGISTER, [S.d.]) que utiliza combustíveis fósseis para os sistemas propulsores dos navios, em sua grande maioria, combustíveis de baixa qualidade (KOŁWZAN e NAREWSKI, 2012).

Uma vez que essa indústria é responsável direta pela geração de valores produzidos pela sociedade, ao mesmo tempo em que também é responsável por um índice considerável de emissões de poluentes (WANG e LUTSEY, 2014; ZHENJU, 2013), a questão da sustentabilidade dentro das atividades marítimas vem sendo amplamente discutida visando buscar soluções para superar o desafio de harmonizar a eficiência de suas atividades com o controle ambiental (LARKIN e colab., 2017).

Diante disso, o presente trabalho propõe uma análise geral do cenário corrente e suas consequentes mudanças derivadas das novas

---

<sup>4</sup> Indústria marítima - indústria que desempenha qualquer atividade relacionada ao oceano, mar, navios, navegação de navios do ponto A ao ponto B, marítimos, proprietários de navios e demais atividades correlacionadas (MANAADIAR, 2020)

normas que entrarão em vigor a partir de 2020. O objetivo é denotar este cenário como uma oportunidade de catalisar o desenvolvimento tecnológico desse setor por meio de estudos e análises de segmentos específicos relacionados às atividades da indústria marítima tendo como referência três aspectos distintos: ambiental, econômico e tecnológico.

Os três aspectos definidos como referenciais para a pesquisa norteiam o objeto de estudo da mesma, propor quais ações devem ser tomadas pela indústria marítima, como um todo, para conciliar esses três aspectos, visando reduzir os índices de emissões de poluentes na atmosfera de forma harmoniosa.

As informações contidas neste trabalho foram obtidas por meio de pesquisa bibliográfica com fontes contendo abordagens específicas dos três aspectos usados como referência para a pesquisa, proporcionando uma análise clara e objetiva das consequências que as novas normas proporcionarão. Logo, os resultados nela apresentados agregam valores e informações necessárias no tocante às decisões a serem tomadas pelas autoridades competentes; i.e. governos, indústrias e demais organizações, segundo suas áreas de atuação; para, assim, reduzir as emissões de poluentes de forma engenhosa e eficaz.

Após a apresentação do tema de pesquisa e sua estruturação, a metodologia empregada para a realização da pesquisa é percorrida seguida da análise dos três aspectos usados como referência para a pesquisa. Estes são analisados e explorados sob a perspectiva de diversas referências bibliográficas com o intuito de apresentar o cenário e identificar seus pontos principais. Na sequência os resultados são retratados e discutidos, seguidos da conclusão que traz um balanço das revisões bibliográficas e resultados propondo linhas de ação a serem tomadas bem como sugestões de estudos futuros com foco na sustentabilidade.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

A partir de Janeiro de 2020 o teor de enxofre permitido nos combustíveis marítimos foi reduzido de 3,5% para 0,5% (IMO, 2016). Essa decisão da IMO<sup>5</sup>, visando um controle ambiental; i.e. reduzir os índices

---

<sup>5</sup> IMO - Organização Marítima Internacional é a autoridade máxima que rege todas as regras e regulamentações da indústria marítima. A IMO é um órgão pertencente à ONU (Organização das Nações Unidas) e possui em seu rol mais de 180 países signatários, incluindo o Brasil. Disponível em: <http://www.imo.org/en/Pages/Default.aspx>.

de emissões de poluentes na atmosfera; resultou em diversas mudanças determinantes para o futuro da indústria marítima. Para compreender essas mudanças, suas causas e efeitos, três aspectos distintos devem ser conciliados: ambiental, econômico e tecnológico.

## 2.1 ASPECTO AMBIENTAL

As atividades marítimas apresentam riscos e impactos diretos em diversos níveis, e a convenção MARPOL, composta por 6 anexos, estabelece as diretrizes a serem seguidas pelas embarcações visando preservar o meio ambiente; o anexo VI dessa convenção trata da poluição do ar em virtude das atividades marítimas (IMO, 2005).

Durante o processo de combustão dos motores marítimos, diversos gases são dispersos na atmosfera, todos com efeitos nocivos ao meio ambiente e à sociedade (HOPKINS e colab., 2010; LAMAS e colab., 2015; KASPER e colab., 2007; LISS e colab., 1997), portanto, a MARPOL estabelece métodos e medidas preventivas para atenuar os índices de emissões desses gases. A IMO tem focado nas emissões de SOx<sup>6</sup>, NOx<sup>7</sup> e gases de efeito estufa. Contudo, devido à natureza do principal combustível marítimo, o HFO<sup>8</sup>, conhecido como óleo pesado; apresentar elevado teor de enxofre, a decisão de reduzir o teor desse elemento químico nos combustíveis é visando a redução dos gases SOx (GILBERT, 2014; LINDSTAD e colab., 2015; MARÍA e colab., 2017; USHAKOV e colab., 2013).

Os gases SOx são higroscópicos<sup>9</sup>, e quando na atmosfera, reagem com a umidade do ar e formam ácido sulfúrico e sulfuroso na forma de aerossol, que mais tarde serão partes integrantes da chuva ácida<sup>10</sup> (HOPKINS e colab., 2010). Esses gases permanecem na atmosfera, em média, de três a cinco dias e podem percorrer longas distâncias causando efeitos nocivos aos humanos e.g edema corneal, dificuldade respiratória, inflamação das vias aéreas, irritação nos olhos, edemas pulmonares e arritmias cardíacas,

---

<sup>6</sup> SOx - Óxidos de Enxofre (MARPOL - Anexo VI 2005; MAPOL 73/78 1978)

<sup>7</sup> NOx - Óxidos de Nitrogênio (MARPOL - Anexo VI 2005; MAPOL 73/78 1978)

<sup>8</sup> HFO - principal combustível marítimo, conhecido como óleo pesado. Este combustível apresenta teor de enxofre e viscosidade elevados, porém baixo custo de produção e de compra, sendo então usado em larga escala dentro da indústria marítima. Para maiores detalhes consultar (GUENT, 2012) e (PETROBRAS, 2012)

<sup>9</sup> Higroscópicos - referentes à higroscopia; trata-se da propriedade que certos materiais ou gases possuem de absorver umidade.

<sup>10</sup> Chuva ácida - precipitação com a presença de ácido sulfúrico, ácido nítrico e nitroso, resultantes de reações químicas que ocorrem na atmosfera.

bronquite crônica além do aumento da taxa de mortalidade em idosos e bebês (HOPKINS e colab., 2010; LISS e colab., 1997).

Outras substâncias provenientes da combustão como NO<sub>x</sub>, CO<sub>x</sub><sup>11</sup>, HC<sup>12</sup> e PM<sup>13</sup> também apresentam efeitos nocivos principalmente pulmonares e cardiovasculares (LISS e colab., 1997), contudo, estes efeitos não se limitam somente aos humanos mas também aos oceanos e rios, esses últimos, principais fontes de água de potável (HOPKINS e colab., 2010).

Diante disso, a IMO vem estabelecendo regras para mitigar as emissões de poluentes. A criação das ECA's<sup>14</sup> são evidências claras de que medidas plausíveis vêm sendo adotadas e apresentando bons resultados (KOŁWZAN e NAREWSKI, 2012; LLOYD'S REGISTER, [S.d.]; NIKOPOULOU e colab., 2012). Atualmente as ECA's e SECA's<sup>15</sup> restringem-se somente a duas regiões do globo: Europa e América do Norte (IMO, 2005; KOŁWZAN e NAREWSKI, 2012)

A Agência Norte Americana de Proteção Ambiental (US EPA – *American Environmental Protection Agency*) estimou que a classificação da América do Norte como ECA, salvará mais de 14 mil vidas por ano até o final de 2020 (KEDZIERSKI, 2012). Contudo, estudos indicam que os navios operam por um período curto de tempo dentro dessas áreas, e a maior parte das emissões desses gases ocorrem dentro dos portos (LINDSTAD e colab., 2015; VIERTH e colab., 2015; WINNES e colab., 2015).

O estudo de Winnes, Styhre e Fridell (2015) aplicado ao porto de Gotemburgo, Suécia, aponta que o uso de energia oriundo da estação portuária pelas embarcações quando nos portos, reduziria as emissões de poluentes em até 53%, o que evidencia a relevância do papel dos portos dentro do aspecto ambiental. Nesse contexto, uma postura mais incisiva por parte de órgãos fiscalizadores e governamentais, estabelecendo metas e índices de emissões para as indústrias é fundamental para viabilizar o controle ambiental (BALLINI e BOZZO, 2015; VIERTH e colab., 2015; WINNES e colab., 2015). Medidas semelhantes foram adotadas pelos EUA,

---

<sup>11</sup> CO<sub>x</sub> - Óxidos de Carbono (MARPOL - Anexo VI 2005; MARPOL 73/78 1979)

<sup>12</sup> HC – Hidrocarbonetos (MARPOL – Anexo VI 2005; MARPOL 73/78 1979)

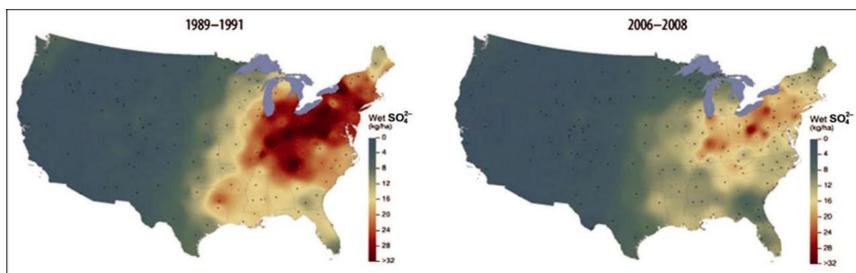
<sup>13</sup> PM – Material particulado (MARPOL – Anexo VI 2005; MARPOL 73/78 1979)

<sup>14</sup> ECA - Área de controle de emissão - área determinada em que é exigida a adoção de medidas especiais obrigatórias para as emissões de navios, para impedir, reduzir e controlar a poluição do ar por NO<sub>x</sub> ou por SO<sub>x</sub> e por matéria em forma de partículas (PM-s) ou pelos três tipos de emissões e os consequentes impactos adversos sobre a saúde humana e o meio ambiente (MARPOL ● Anexo VI 2005; Regra 2, item 8)

<sup>15</sup> SECA - Área de controle de emissão de Enxofre ● área em que é exigida adoção de medidas de controle para impedir, reduzir e controlar as emissões SO<sub>x</sub>, especificamente.

onde todas as instalações industriais tiveram de mitigar seus índices de emissões de poluentes, com uma fiscalização contundente por parte das agências governamentais, os resultados foram obtidos em um período curto de tempo, 20 anos. Esse é um caso verificável da eficiência de uma decisão adotada por iniciativa do país em prol do controle ambiental. A figura 1 ilustra a intensidade e o índice de emissões de gases SOx na costa leste dos EUA comparando os resultados alcançados após as medidas de controle adotadas pelas autoridades governamentais. A imagem à esquerda, refere-se ao período de 1989 a 1991, antes das adoções de medidas de controle dos índices de emissões. A imagem à direita refere-se ao período de 2006 a 2008, aproximadamente 20 anos após a adoção das medidas, vide Figura 1.

**Figura 1 - redução dos índices de poluição de gases SOx na costa leste dos EUA**



(NIKOPOULOU e colab., 2012).

Do ponto de vista global, dentre os efeitos da emissão de poluentes pode-se citar como exemplos a chuva ácida, efeitos danosos na camada de ozônio, enfraquecimento do ciclo hidrológico<sup>16</sup>, acidificação do oceano e ecossistema marinho e, principalmente, o aquecimento global (BOUMAN e colab., 2017; CUDINA, 2015; HOPKINS e colab., 2010; LINDSTAD e colab., 2011; LISS e colab., 1997; IMO, 2009; SMITH e colab 2014).

Estimativas da União Europeia apontavam que caso as novas diretrizes da IMO não vigorassem a partir de 2020, em termos proporcionais, a indústria marítima poderia ser a maior responsável pela poluição do ar na Europa, ultrapassando as demais indústrias (BOUMAN

<sup>16</sup> Ciclo hidrológico - conhecido popularmente como ciclo da água, refere-se ao processo permanente de transformação da água na natureza passando de um estado para outro (sólido, líquido e gasoso)

e colab., 2017; NIKOPOULOU e colab., 2012; ZHENJU, 2013), as quais vêm reduzindo seus índices de poluição gradativamente, o que evidencia o quanto a decisão assertiva e imperativa da IMO em definir metas e padrões é necessária. Todavia, alguns autores afirmam que os maiores esforços da IMO não deveriam ser envidados para os gases SOx e NOx, mas sim para os gases de efeito estufa (GHG)<sup>17</sup> (CRIST, 2009; CUDINA, 2015; GILBERT, 2014; LINDSTAD e colab., 2011, LINDSTAD e colab., 2015; SHARMINA e colab., 2017; WINNES e colab., 2015).

HOBBS e colab., (2000) e LINDSTAD e colab., (2015) afirmam que dentre todos os poluentes emitidos na atmosfera pelos navios, os que apresentam efeitos mais danosos ao meio ambiente são os gases COx e as PM's. A meta de conter o aquecimento global em até 2°C, proposta pelo Acordo de Paris (UNFCCC, 2015) exige reduções de gases de efeito estufa da ordem de 50% a 85% até 2050 (LANE, 2011; LINDSTAD, e colab., 2012; USHAKOV e colab., 2013; WALSH e colab., 2017). Porém, a troca dos combustíveis com diferentes teores de enxofre não minimiza a emissão desses gases (GILBERT, 2014; KOŁWZAN e NAREWSKI, 2012; LAMAS e colab., 2015; LAZARIDIS e colab., 2008; LINDSTAD e colab., 2015; WINNES e FRIDELL, 2009), pois estas trocas atenuam somente os índices de emissões de enxofre, e não dos demais gases, vide tabela 1.

Desde 2015 o teor de enxofre no combustível está limitado em 0,1% dentro das ECA's e 3,5% fora delas (ANEXO VI, 2010; EIDE e colab., 2011; KOŁWZAN e NAREWSKI, 2012; NIKOPOULOU e colab., 2012). De acordo com diversos estudiosos, a inconsistência encontra-se em se estabelecer um limite de 0,5% fora delas, ou seja, no resto do globo.

Apesar do teor máximo de enxofre permitido para combustíveis marítimos fora das ECA's ser de 3,5%, a média global de todo combustível usado pela indústria marítima é de 2,4% a 2,7% (EIDE e colab., 2011; KOŁWZAN e NAREWSKI, 2012; SEDDIEK e ELGOHARY, 2014), logo, com essa média, o índice de emissões de SOx é menor do que o limite estabelecido pela IMO. Para KASPER e colab., (2007) e USHAKOV e colab., (2013), as empresas operam abaixo dos limites estabelecidos não somente

---

<sup>17</sup> GHG – gases de efeito estufa - Os gases de efeito de estufa são substâncias gasosas que absorvem parte da radiação infravermelha, emitida principalmente pela superfície terrestre, e dificultam seu escape para o espaço. Isso impede que ocorra uma perda demasiada de calor para o espaço, mantendo a Terra aquecida. O efeito estufa é um fenômeno natural e é necessário para a manutenção da vida no planeta, contudo, o aumento dos gases estufa na atmosfera têm potencializado esse fenômeno natural, causando um aumento da temperatura do planeta, denominado como aquecimento global ou mudança climática. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Gases\\_do\\_efeito\\_estufa](https://pt.wikipedia.org/wiki/Gases_do_efeito_estufa)

por questões ambientais, mas também técnica e financeiras. Os sistemas propulsores são diretamente afetados pela qualidade do combustível que utilizam. Seus estudos indicam que quanto maior o teor de enxofre no combustível, maior o índice de corrosão interna no maquinário da embarcação, devido a formação de óxidos de enxofre, que ao reagir com a umidade do ar, pois, como referido anteriormente, são gases higroscópicos, estes formam ácidos em forma gasosa, resultando em corrosão (ABS, 2015).

Tendo em vista a entrada em vigor dos novos limites de enxofre nos combustíveis, a Tabela 1 ilustra como essa decisão pode vir a ser incoerente. Os resultados nela apresentados evidenciam que, apesar do alto índice de redução das emissões de gases SO<sub>x</sub> usando combustíveis com teores de enxofres menores, os óxidos de carbono (CO<sub>x</sub>), que são gases de efeito estufa (GHG), continuam com índices praticamente inalterados. Nota-se também que a carga de operação do motor tem um papel relevante, o que favorece ainda mais a proposta de CUDINA (2015) de se alterar a forma de cálculo do indicador do grau de emissões de gases CO<sub>x</sub> estabelecida pela IMO, denominado EEDI<sup>18</sup>.

**Tabela 1 - Resultados específicos para emissões de gases e PM (g/kWh)<sup>19</sup>**

Load (%MCR <sup>19</sup> )	Fuel	SFC <sup>16</sup> (g/kWh)	PM (g/kWh)	NO <sub>x</sub> (g/kWh)	CO <sup>17</sup> (g/kWh)	HC (g/kWh)	CO <sub>2</sub> <sup>18</sup> (g/kWh)	SO <sub>2</sub> (g/kWh)
50-55	HFO	193	-	7,49(1,0%)	1,05(3,8%)	0	620(0,5%)	4,62 (6,18) (1,6%)
65-70	HFO	188	0,53(1,1%)	8,49(1,6%)	0,74(11,0%)	0	603(0,9%)	4,62 (6,02) (1,2%)
90	HFO	189	0,69(1,3%)	10,71(0,6%)	0,30(4,9%)	0	607(1,2%)	4,57 (6,05) (1,2%)
55-60	MGO <sup>20</sup>	204	0,37(2,9%)	7,91(1,3%)	1,28(3,4%)	0	646(0,7%)	0,13 (0,12) (12,0%)
70	MGO	196	0,28(NA)	9,13(1,5%)	0,67(12,0%)	0	622(1,9%)	0,10 (0,12) (14,0%)
85-90	MGO	191	0,38(11%)	9,57(1,1%)	0,33(9,3%)	0,03(140%)	607(0,7%)	0,14 (0,11) (23,0%)

(WINNES e FRIDELL, 2009).

A relação existente entre emissão de gases, carga e temperatura de funcionamento do motor, e velocidade de referência mostra-se como uma equação complexa de ser resolvida alterando-se unicamente o combustível utilizado (CUDINA, 2015; DEVANNEY, 2011; EIDE e colab., 2011; KASPER

<sup>18</sup> EEDI - índice de eficiência energética por design - medida implantada pela IMO para mitigar as emissões de gases CO<sub>x</sub>. Para maiores informações e detalhes consultar (ZACHARIADIS, 2011) e <<http://www.imo.org/en/ourwork/environment/pollutionprevention/airpollution/pages/technical-and-operational-measures.aspx>>

<sup>19</sup> Resultados apresentados para um motor Diesel 4.5-MW de um navio tanque operando com HFO ou MGO com três cargas operacionais consumos específicos de combustível distintos.

e colab., 2007; LAMAS e colab., 2015; LINDSTAD, e colab., 2015; MARÍA e colab., 2017; WINNES e FRIDELL, 2009).

Segundo Hobbs e colab (2000) as emissões dos gases NOx e HC possuem índices mais elevados não em virtude de um maior consumo de combustível ou seu teor de enxofre, mas sim devido à temperatura de funcionamento e carga operacional dos motores.

A tabela 2 descreve os índices de emissões da combustão de diferentes combustíveis, o residual (HFO) e o destilado MDO<sup>20</sup>. Nota-se que a grande diferença encontra-se unicamente nas emissões de SO<sub>2</sub>, enquanto os demais índices sofrem poucas variações.

**Tabela 2 - Índices de emissões provenientes da combustão de combustíveis residuais e destilados (HFO e MDO, respectivamente)**

Fuel	PM (g/kWh)	NOx(g/kWh)	HC (g/kWh)	CO <sub>2</sub> (g/kWh)	SO <sub>2</sub> (g/kWh)
HFO	0,42-1,25	14,0	0,5	677	11.5
MDO	0,3	13,2	0,5	645	1,0-4,1

(WINNES e FRIDELL, 2009).

Uma vez que a redução do teor de enxofre nos combustíveis marítimos mitigam muito mais as emissões de gases SOx, LINDSTAD e colab. (2015) defende que a IMO deveria reconsiderar essa decisão e permitir que se continue usando o combustível residual fora das ECA's, pois a maior parte das atividades de navegação ocorre fora delas, ainda mais pelo fato do combustível utilizado não ser a única variável em questão (CALLEYA e colab., 2015; DEVANNEY e BEACH, 2010; LAZARIDIS e colab., 2008; REHMATULLA e colab., 2017).

Os gases SOx tem efeitos refrigerantes na atmosfera, ou seja, amenizam os efeitos das emissões de GHG's (LINDSTAD e colab., 2015) uma redução isolada dos índices de emissão de gases SOx, por fim, contribuiriam para o aquecimento global (Fig 2). Assim, com essa concessão, as embarcações, quando navegando, auxiliariam o controle ambiental.

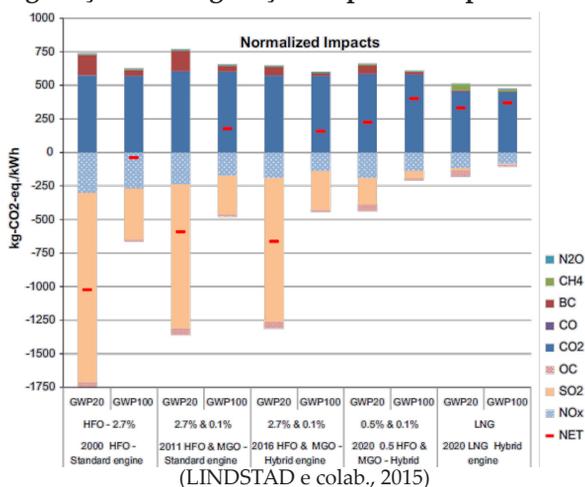
Concernente ao aquecimento global, tendo em vista a redução de GHG e a consequente mitigação de seus efeitos, a IMO adotou uma

<sup>20</sup> MDO - óleo diesel marítimo - combustível destilado semelhante ao MGO e ao diesel automotivo, porém com diferentes teores de carbono e índice de cetano, além de especificações distintas quanto ao armazenamento. Para maiores detalhes consultar GUENT (2012)

emenda ao Anexo VI da MARPOL; o EEDI. Em suma, o EEDI atingido por uma embarcação é um índice que representa a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido por tonelagem de porte bruto e velocidade de cruzeiro, medida em knots<sup>21</sup> (CALLEYA e colab., 2015; CUDINA, 2015; DEVANNEY e BEACH, 2010; IMO, 2005). Essa emenda entrou em vigor em 15 de julho de 2011, e esse índice passou a ser mandatório a todos os navios afretados a partir de 1º de janeiro de 2013 (IMO, 2005; MEPC 203(62), 2012).

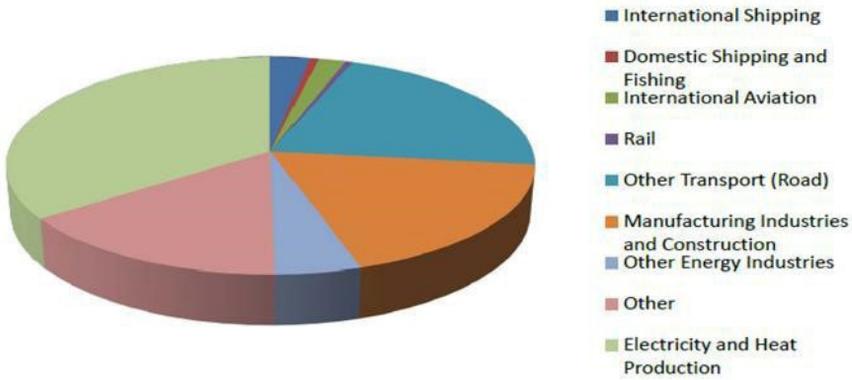
Entretanto, há autores que afirmam que algumas dessas novas regulamentações adotadas para o EEDI devem ser revistas, pois apresentam inconsistências no tocante à realidade encontrada pelas embarcações ao desempenharem as atividades para as quais foram designadas. Segundo esses autores, o modelo atual falha em pontos cruciais quanto à segurança, sustentabilidade, desempenho, e prioridades (CALLEYA e colab., 2015; CUDINA, 2015; DEVANNEY, 2011). ZHENJU (2013) aponta para a importância dessa emenda da IMO uma vez que a indústria marítima é responsável por um percentual elevado de emissões de CO<sub>2</sub> (Fig 3). O mesmo autor defende a implantação imediata de novas normas e a redução do percentual de enxofre no combustível marítimo. Porém, ainda há divergências quanto à eficiência e a forma como as normas e metas vêm sendo estabelecidas (LANE, 2011).

**Figura 2 – Média de Impacto do aquecimento global em horizonte de 20-e-100 anos em kg equivalentes de CO<sub>2</sub> por 1000 kWh para as trocas investigadas (25% da distância em ECA) em função do combustível, ano de legislação e configuração de potência (padrão ou híbrido)**



<sup>21</sup> Knot - unidade de medida usada no meio marítimo para determinar a velocidade de uma embarcação. 1 knot equivale à uma milha náutica por hora (nm/h)

**Figura 3 – índices globais de emissão de CO<sub>2</sub>**



(ZHENJU, 2013)

## 2.2 ASPECTO ECONÔMICO

Sob uma perspectiva econômica, a redução da emissão de gases por tonelagem bruta por meio das EOS's<sup>22</sup> é uma medida viável e que já vem sendo adotada (BOUMAN e colab., 2017; LINDSTAD e colab., 2012). As medidas EOS são as substituições das embarcações menores por outras de maior porte, transportando assim uma quantidade maior de carga com um número menor de embarcações (LINDSTAD e colab., 2012; SMITH e colab., 2014). Contudo, deve-se ressaltar que essas medidas requerem grandes investimentos financeiros, mas com resultados expressivos se analisados sob a perspectiva de otimização de custos e retorno de investimento no longo prazo.

Essa prática é capaz de reduzir os índices de emissões de poluentes em até 30% até 2050 (BOUMAN e colab., 2017; LINDSTAD e colab., 2012); isso sem alterar o combustível utilizado; e, embora a estimativa de reposição dessas embarcações seja em torno de 25 anos, pois dar-se-

<sup>22</sup> EOS - economia de escala - modelo econômico que organiza o processo produtivo de maneira que se alcance a máxima utilização dos fatores produtivos no processo, almejando obter resultados de baixos custos de produção e o incremento de bens e serviços. No caso da indústria marítima resume-se em substituir embarcações defasadas por embarcações mais modernas e maiores, com maior capacidade de carga para reduzir, no total, o número de embarcações operando, porém transportando o mesmo volume de cargas.

ia de forma gradativa, os resultados obtidos na ordem de 30% são bons indicadores de que o modelo deve ser considerado.

Esses grandes investimentos financeiros não são alocados unicamente para a construção de novos navios, mas também para os portos, pois estes teriam de se adequar para receberem embarcações maiores, além de terem de se reestruturar para atender as demandas dos novos navios, tanto na questão de otimização do carregamento, como do abastecimento de combustível, sejam residuais ou alternativos (LINDSTAD e colab., 2012). Neste contexto, caso os portos não recebam tais investimentos, se modernizando e reestruturando para receberem embarcações de maior porte; algumas rotas teriam de ser revistas, alterando a logística e consequentemente o preço final dos produtos, pois esses poderiam ter seus custos elevados em virtude da alteração do local de carga e descarga dos mesmos (SWEDISH MARITIME ADMINISTRATION, 2009; THANOPOULOU e STRANDENES, 2017; VIERTH e colab., 2015).

Ainda dentro do aspecto econômico, apesar de ser uma medida técnica, deve-se destacar a prática de navegação com velocidade reduzida (BENTIN e colab., 2016; LINDSTAD e colab., 2011; SMITH e colab., 2014). Essa medida passou a ser adotada quando os preços nos combustíveis subiram e devido a classificação de certas regiões como ECA's por parte da IMO. Essa medida apresenta resultados interessantes, e.g a redução nos índices de poluentes em até 30% nos GHG decorrentes de uma redução no consumo de combustível (LINDSTAD e colab., 2011). Entretanto, essa medida apresenta a contrapartida de requerer mais embarcações navegando de modo a equilibrar a demanda (CRIST, 2009; LINDSTAD e colab., 2011; IMO, 2009) ao passo que as medidas de economia de escala reduzem o número de embarcações operando.

A navegação em velocidade reduzida também apresenta contrapartidas do ponto de vista ambiental; e.g, as emissões de NOx tendem a aumentar nestas circunstâncias devido ao motor operar com rotação e cargas operacionais diferentes do ideal (LAMAS e colab., 2015; SEDDIEK e ELGOHARY, 2014). Além disso, as emissões de HC também aumentam com essa prática, pois a combustão perde eficiência nessas condições devido a queima do combustível ser incompleta (HOBBS e colab., 2000; LISS e colab., 1997; SEDDIEK e ELGOHARY, 2014)

Em razão da dificuldade de conciliar o aspecto ambiental e o econômico, segundo NIKOPOULOU e colab. (2012), um sistema *cap and*

*trade*<sup>23</sup> mostra-se como uma solução inteligente. Em suma, este sistema é baseado em uma estratégia de mercado e não em normas e regras. As emissões de poluentes são tratadas como commodities, e então negociadas no mercado, o que permite que as empresas e indústrias que geram emissões de poluentes façam investimentos em estudos e implantem tecnologias mitigatórias assegurando um retorno financeiro desses investimentos em um tempo menor (NIKOPOULOU e colab., 2012). As empresas de navegação não se interessam por tal modelo (DEVANNEY, 2011; KOŁWZAN e NAREWSKI, 2012), porém, sua aplicação proporcionaria bons resultados, se realizados nas instalações portuárias, principalmente naquelas cuja principal fonte energética emita um índice elevado de GHG e SO<sub>x</sub> (BALLINI e BOZZO, 2015; WINNES e colab., 2015).

No que tange aos investimentos nas embarcações visando o controle ambiental, existe a inviabilidade de se investir na readequação das embarcações mais antigas dependendo da escolha das tecnologias a serem usadas (CALLEYA e colab., 2015; CRIST, 2009; KASPER e colab., 2007; LINDSTAD e colab., 2012; REHMATULLA e colab., 2017). Dentro do aspecto econômico, devido ao ciclo de vida das embarcações, em média de 25 a 30 anos (CALLEYA e colab., 2015; GILBERT e colab., 2017; GILBERT, 2014), há um senso comum de que o melhor curso a ser tomado é investir em inovações tecnológicas nas novas embarcações, inclusive com técnicas inovadoras no processo de construção. GILBERT e colab. (2017) apresenta um panorama dessas técnicas na produção de novos navios reduzindo as emissões de CO<sub>2</sub> em toda a cadeia do processo de produção, reaproveitando 100% ou 50% dos cascos. As emissões de CO<sub>2</sub>, aplicando esse modelo de reutilização do aço em cada caso são reduzidas em 29% e 10%, respectivamente.

Uma vez que a implantação de novas tecnologias é sempre melhor com navios ainda em projeto ou novos, o que garante um tempo de vida útil suficiente para reaver parte dos valores alocados nesses investimentos (EIDE e colab., 2011; NIKOPOULOU e colab., 2012; SEDDIEK e ELGOHARY, 2014; SMITH e colab., 2014), no caso de navios mais velhos, existem inúmeros fatores que não são atraentes para as empresas de navegação; e.g a readequação dos tanques de combustível para armazenarem

---

<sup>23</sup> Cap and trade - um sistema criado para controlar as emissões de carbono e outras formas de poluição atmosférica através das quais é definido um limite superior à quantidade que uma determinada empresa ou organização pode produzir, mas que permite que uma capacidade maior de emissões seja comprada de outras organizações que não usaram a quantidade total permitida.

combustíveis como o LNG, um combustível que possui teor de enxofre muito baixo (ADAMCHAK, 2011; DAVIES e FORT, 2017; KOLWZAN e NAREWSKI, 2012), e com baixos índices de emissões de poluentes (KUMAR e colab., 2011; LAZARIDIS e colab., 2008) faz com que o navio perca capacidade de carga, podendo apresentar um índice de emissão de poluentes até maior se analisado por tonelagem carregada (CALLEYA e colab., 2015; REHMATULLA e colab., 2017; CORBETT e colab., 2017).

### 2.3 ASPECTO TECNOLÓGICO

Ao mesmo tempo em que na esfera econômica essas novas normas restringem o comércio e impõem desafios quanto à viabilidade (DEVANNEY, 2011; LAI e colab., 2011), na esfera da inovação elas impulsionam o desenvolvimento de novas tecnologias (BOUMAN e colab., 2017; LANE, 2011; LINDSTAD e colab., 2012).

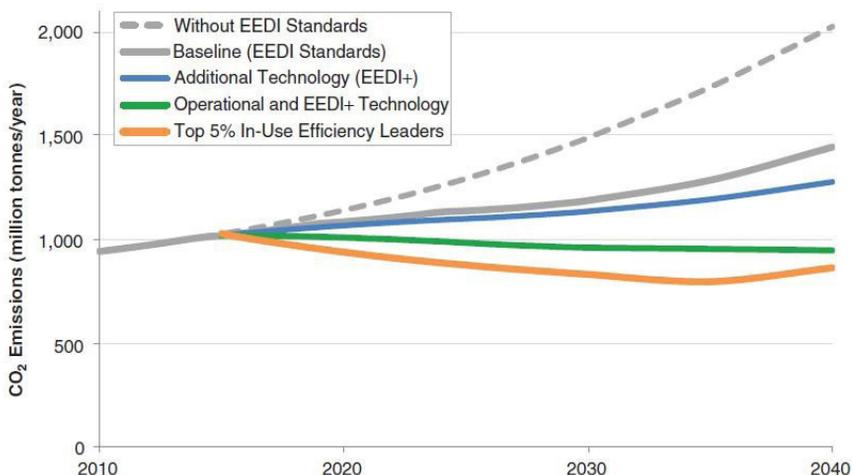
Para Lindstad e colab. (2015), a IMO está optando por atingir metas específicas para cada poluente de forma individualizada, o que se mostra ineficaz no longo prazo tanto ambiental quanto financeiramente. As emissões de SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub> devem ser mitigadas com o mesmo afincamento que os GHG, principais responsáveis pelo aquecimento global, (IMO, 2009. ; SMITH e colab., 2014) logo, os desenvolvimentos tecnológicos devem ser concomitantes (BOUMAN e colab., 2017; CALLEYA e colab., 2015; LINDSTAD e colab., 2015; SEDDIEK e ELGOHARY, 2014). As novas tecnologias devem visar reduzir as emissões de gases conforme normas e emendas estabelecidas no Anexo VI da MARPOL, mas em sua totalidade, e não individualmente (GILBERT, 2014).

### O EEDI E AS EMISSÕES DE GHG

Atualmente as soluções mais adotadas para se reduzir o índice de emissão de poluentes e dos GHG têm sido a navegação em velocidade reduzida ou a alteração do combustível utilizado (GILBERT, 2014; LINDSTAD e colab., 2015; WANG e LUTSEY, 2014). O EEDI veio como uma medida de controle da IMO para quantificar o índice de emissão desses gases e é considerada por muitos como uma decisão acertada (CRIST, 2009). Conforme pode ser constatado na figura 4, a implantação da medida de fato levará a uma redução substancial nos índices de emissões de CO<sub>2</sub>. Porém, alguns estudiosos apontam para inconsistências na forma

como esse índice é calculado, o que, sob a perspectiva dos armadores, compromete a eficiência da medida (CUDINA, 2015; DEVANNEY, 2011; DEVANNEY e BEACH, 2010).

**Figura 4 – Projeção das reduções nos índices de emissões de CO<sub>2</sub> com a implantação do EEDI**



(CRIST, 2009).

Para Devanney (2011) o EEDI limita a potência instalada, e essa limitação leva os engenheiros a instalarem motores de menor calibre com rotações mais altas. Esses motores têm um consumo específico de combustível mais elevado e requerem um propulsor menor e menos eficiente. Assim, para um VLCC<sup>24</sup> ser compatível com o EEDI imposto pela IMO, esse navio consome mais combustível, pois os motores operando em rotações mais altas automaticamente consomem mais combustível. Em situações onde o mercado não está em alta, i.e. com preços de combustíveis mais elevados e um número menor de embarcações operando, estes navios-tanque compatíveis com o EEDI têm a sustentabilidade de suas atividades comprometidas, em decorrência de aumentarem o custo operacional devido a este consumo mais elevado (DEVANNEY, 2011)

Na questão da segurança e desempenho, CUDINA (2015) afirma que o modelo de cálculo atual do EEDI força os engenheiros e arquitetos navais a estabelecerem a taxa de serviço contínua do sistema propulsor

<sup>24</sup> VLCC - Navio tanque com capacidade de carga de até 250.000 toneladas de óleo bruto.

(CSR<sup>25</sup>) em 90% da taxa máxima de serviço específica (SMCR<sup>26</sup>), o que, em contrapartida, leva a um problema de escassez de potência do motor ao navegar em condições de mar adversas. Sob essas condições, a segurança do navio é reduzida, e tanto a carga quanto a tripulação ficam em risco.

Essa redução da segurança do navio, sua tripulação e carga acabam por elevar o valor do seguro da embarcação pago pelos armadores, ademais, a forma de cálculo atual do EEDI favorece navios cujos designs são para motores com potências mais baixas; e com baixas SCMR, o que tem feito com que os engenheiros e projetistas tentem vencer essa barreira alterando o formato do casco, dentre outras modificações estruturais (CALLEYA e colab., 2015; CUDINA, 2015; HAYMAN e colab., 2000; LAZARIDIS e colab., 2008; ZACHARIADIS, 2011).

Diante desses desafios, o SMI<sup>27</sup> (*ship model impact* – modelo de impacto de navio) (CALLEYA e colab., 2015) apresenta-se como uma ferramenta muito eficaz, pois permite a simulação de cenários diversos para análises mais precisas, obtendo, para navios idênticos, resultados diferentes; o que fortalece os argumentos para alterar a forma de cálculo do EEDI. Segundo DEVANNEY, (2011), esse índice está sendo calculado de forma generalizada, em suas palavras, “[...] baseado em uma visão estática do mundo [,,,]”, o que compromete sua eficiência. O EEDI deve ser baseado nas situações reais enfrentadas por embarcação (CUDINA, 2015).

No contexto do EEDI, a ferramenta SMI agrega muito valor (REHMATULLA e colab., 2017) uma vez que as análises de cenários feitas pela ferramenta se baseiam nas CRM's<sup>28</sup> (Carbon Reduction Measures – Medidas redutoras de Carbono) e se dão sob perspectivas econômicas, logísticas, operacionais e de infraestrutura. O uso adequado da mesma permite que engenheiros e projetistas calculem e simulem medidas necessárias para fazer adaptações nas embarcações em operação, incluindo inovações em projetos futuros com soluções mais abrangentes e propostas para alterações estruturais e mecânicas nas embarcações visando avanços tecnológicos em um horizonte de 40 anos a partir de sua implementação..

---

<sup>25</sup> CSR - é a potência com à qual o motor opera, incluindo a potência extra para condições de mar adversas. Para maiores detalhes consultar ROBERTSON (2017)

<sup>26</sup> SMCR - é taxa máxima exigida pelo estaleiro ou proprietário (às vezes contratual) para a operação contínua do motor. Para maiores detalhes consultar ROBERTSON (2017)

<sup>27</sup> SMI – ferramenta computacional que permite simulações do uso de tecnologias distintas nas embarcações, tanto para projetos iniciais quanto para adaptações em embarcações em operação.

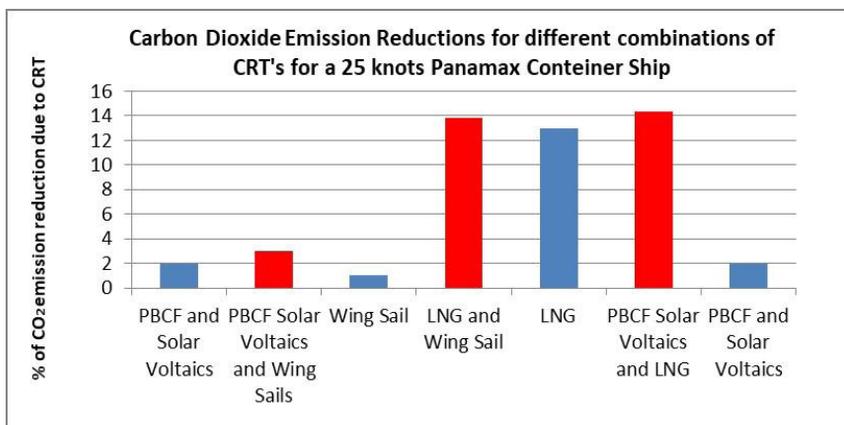
<sup>28</sup> CRM - medidas usadas nas embarcações para reduzir os índices de emissões de Carbono.

As CRM's podem são classificadas de duas formas:

CRO's – *Carbon Reduction Operations* – Operações para redução de carbono – essas se referem às formas como os navios devem operar visando atingir o EEDI; e.g. navegar em velocidade reduzida, traçar derrotas em função das condições de mar (BENTIN e colab., 2016; KASPER e colab., 2007; LINDSTAD e colab., 2011; WALSH e colab., 2017).

CRT's – *Carbon Reduction Technologies* – Tecnologias redutoras de carbono – essas se referem às tecnologias em estudo e/ou em uso para se adaptar ou implantar nos navios em operação e/ou em fase de desenvolvimento; e.g. novos combustíveis, novos sistemas de propulsão, sistemas de reaproveitamento energético, alterações estruturais nas embarcações dentre outros.

**Figura 5 – Redução de gases CO<sub>2</sub> com o uso de diferentes CRT's**



As combinações de CRT's são apresentadas em vermelho (exceto PBCF<sup>29</sup> e painéis solares) (CALLEYA e colab., 2015)

A Figura 5 apresenta os resultados do uso do SMI usando quatro CRT's diferentes aplicadas em um navio *Panamax*<sup>30</sup> com velocidade de 25 *knots*. Apesar da redução dos índices de emissões, a alteração do combustível utilizado, HFO para LNG, fez com que a capacidade de carga do navio fosse reduzida devido às particularidades desse combustível (CALLEYA e colab., 2015; LAZARIDIS e colab., 2008; NIKOPOULOU

<sup>29</sup> PBCF - propulsor marítimo dotado de um hélice auxiliar em sua extremidade (Fig 6)

<sup>30</sup> Panamax - designação de navio cuja boca máxima permite cruzar o canal do Panamá (para melhor definição de *boca máxima*, favor consultar o manual de Arte Naval (FONSECA, 2006)

e colab., 2012). Desta forma, devido a essa redução, o índice de emissão de GHG por unidade de carga aumentou. A tabela 3 identifica as CRT's usadas no estudo em questão: PBCF's (Fig 6), LNG<sup>31</sup>, painéis solares para os sistemas auxiliares e propulsão eólica (WASP<sup>32</sup>) (Fig 7); no estudo analisado foram as tradicionais velas<sup>33</sup>, porém modernizadas.

**Tabela 3 – Resultados obtidos para um navio contêiner Panamax de 25 knots após 35 dias de testes**

CRT	Baseline	PBCF	Solar Cells	LNG	Wing Sails	PBCF, Solar Cells, LNG and Wing Sails
CO2 (tonces/day)	274,4	266,6	272,4	237,6	269,0	229,9
% reduction	0,0%	2,1%	<0,1%	12,8%	1,2%	15,6%
CO2/design cargo	0,0078	0,0076	0,0078	0,0097	0,0077	0,0094
% reduction	0,0%	2,1%	<0,1%	-24,80%	1,2%	-20,80%
EEDI (gCO <sub>2</sub> /t nm)	43,0	42,7	43,0	53,4	42,9	53,0
% reduction	0,0%	0,6%	<0,1%	-24,20%	0,1%	-23,30%

(CALLEYA e colab., 2015)

Ainda referente a redução de gases do efeito estufa, Lamas e colab. (2015) apresenta um estudo técnico sobre a viabilidade do uso de hidrogênio como combustível marítimo; assim como Lindstad e colab. (2015) defendem que a melhor linha de ação a ser tomada é desenvolver navios inteligentes, com módulos de navegação distintos com motores que possam operar tanto com o combustível residual quanto com os destilados e LNG. Nesses navios, os dados desejados; e.g, derrota prevista. i.e; o trajeto delimitado na carta náutica, velocidade de navegação, economia de combustível e índice de redução são inseridos

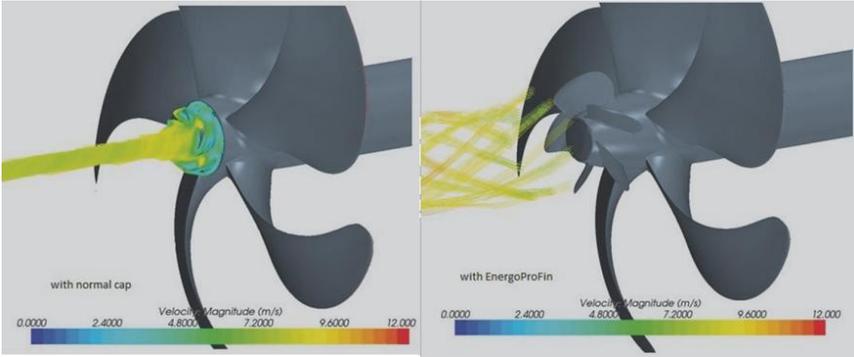
<sup>31</sup> LNG - gás natural liquefeito.

<sup>32</sup> WASP - designação para sistemas auxiliares que fazem uso dos ventos para auxiliar na propulsão da embarcação.

<sup>33</sup> Vela - peça em lona, brim ou outro tecido natural ou sintético apropriado, destinada a, recebendo o sopro do vento, impelir as embarcações. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/deprojeto/labnav/textos/tgl0230p.htm>

em um programa computacional que analisa as variáveis e define tudo automaticamente; a carga operacional e a rotação do motor, o combustível utilizado e a velocidade de navegação, incluindo opções de modos de navegação; econômico, ecológico, veloz e ECA's, (um modo específico para navegar dentro das ECA's).

**Figura 6 – Diferença entre propulsores regulares e PBCF's**



(POSPIECH, 2015).

A figura 6 ilustra como o PBCF (à direita) reduz os vórtices na extremidade do propulsor, reduzindo o torque necessário para vencer o arrasto atuante na embarcação o que proporciona, por conseguinte, uma redução no consumo de combustível e nos índices de emissões de poluentes.

**Figura 7 – WASP's – sistemas auxiliares de propulsão eólica**



À esquerda uma imagem ilustrativa do uso de velas; à direita uma imagem real de um navio de apoio *offshore*<sup>34</sup> com rotores Flettner em ambas as extremidades da embarcação

(MARLE, 2015).

<sup>34</sup> Offshore - no contexto marítimo, é um termo em língua inglesa que se refere às atividades de prospecção, perfuração e exploração de petróleo e gás natural ao largo da costa.

Concernentes às tecnologias computacionais, Bentin e colab. (2016) apresenta o estudo de um algoritmo designado para traçar e corrigir automaticamente as derrotas<sup>35</sup> do navio de acordo com as ondas e o vento. O uso exclusivo dessa tecnologia proporcionou economias de energia na ordem de 4% a 8%, consequentemente reduzindo o consumo de combustível e os índices de emissões de poluentes. Também foram realizadas, simulações desse algoritmos acompanhados de WASP's as quais apresentaram resultados ainda mais promissores, porém o uso das WASP's acabam por reduzir a capacidade de carga das embarcações ao mesmo tempo em que variam muito dependendo da carga transportada a bordo.

## EMISSÕES DE NOX E SOX

Atualmente, para os gases NOx é possível reduzir suas emissões em grandes proporções. Há uma gama considerável de tecnologias disponíveis para reduzir suas emissões com um alto índice de eficiência (NIKOPOULOU e colab., 2012; SEDDIEK e ELGOHARY, 2014). Um exemplo é o método conhecido como HAM<sup>36</sup> (*humid air method*) em que o ar admitido no cilindro do motor é previamente umidificado antes de ser injetado na câmara de combustão. Esse método reduz as emissões em até 80%. Outros métodos são a recirculação dos gases de exaustão e a emulsão de água, misturada com combustível, porém ambos são considerados ineficientes uma vez que as reduções mostram-se inferiores a 50% (NIKOPOULOU e colab., 2012).

Há também três métodos que estão diretamente relacionados à combustão do combustível pelos motores. Um desses métodos é o de aumentar a pressão do ar de lavagem: dessa forma consegue-se admitir uma quantidade de ar mais pressurizado dentro do cilindro, o que por sua vez permite reduzir a temperatura de combustão, e consequentemente, as emissões de NOx (KARAN, 2017; KOLWZAN e NAREWSKI, 2012; VANDEBROEK e BERGHMANS, 2012). Os turbocompressores duplos, i.e. turbinas em série, onde o fluido de descarga da primeira turbina é admitido na entrada da segunda; funcionam com o mesmo princípio, maior injeção de ar com pressão mais elevada dentro do cilindro e consequente redução da temperatura de combustão. Por fim, têm-se os novos designs que inibem a formação de gases

---

<sup>35</sup> Derrota - termo náutico usado para se referir ao trajeto a ser seguido durante a navegação.

<sup>36</sup> HAM - método de redução das emissões de NOx baseado na umidificação do ar de admissão do motor.

NOx, eliminando a necessidade de se investir em intervenções externas (KOŁWZAN e NAREWSKI, 2012; NIKOPOULOU e colab., 2012).

Contudo, para muitos estudiosos, a tecnologia mais eficaz é a redução catalítica, ou SCR<sup>37</sup> (*selective catalytic reduction*). O uso dessa tecnologia reduz as emissões em até 95%. Os principais aspectos a serem considerados quanto ao seu uso estão em seus custos operacionais, de implantação e manutenção (EYRING e colab., 2005; LLOYD'S REGISTER, [S.d.]; NIKOPOULOU e colab., 2012; SEDDIEK e ELGOHARY, 2014).

Para os gases SOx, as opções atuais são a troca do combustível residual por destilados com baixo teor de enxofre, LNG ou a instalação de depuradores<sup>38</sup> (KARAN., 2017; GILBERT, P. 2014; LINDSTAD, HAAKON e ESKELAND, 2020; NIKOPOULOU e colab., 2012). Porém, os custos de implantação dos depuradores são bem elevados o que faz com que as empresas apresentem receios quanto ao investimento nessa tecnologia em embarcações mais antigas, a despeito de sua alta eficiência. O uso dos depuradores reduz os índices de emissões de SOx em até 95% (KOŁWZAN e NAREWSKI, 2012; NIKOPOULOU e colab., 2012; SEDDIEK e ELGOHARY, 2014).

Todavia, mesmo que o uso de combustíveis alternativos e destilados seja a opção mais simples no que tange as emissões de SOx, ainda há outro aspecto que torna essa adequação mais desafiadora: o preço dos combustíveis marítimos (CRIST, 2009; KEDZIERSKI, 2012; KOŁWZAN e NAREWSKI, 2012; VIERTH e colab., 2015). A diferença de preços dos combustíveis é expressiva; o MDO é, em média 60% mais caro que o HFO, enquanto que o MGO fica em torno de 79% a mais (NIKOPOULOU e colab., 2012). Não é fácil fazer previsões dos valores dos mesmos ao longo dos anos (CRIST, 2009; FORGET, 2010; KOŁWZAN e NAREWSKI, 2012). Sob essa perspectiva, o uso de depuradores mostra-se mais favorável uma vez que o custo de implantação da tecnologia é estável e realizado uma única vez, sendo certamente recuperado ao longo dos anos e sem necessidade de alteração do combustível residual (HFO). Ademais, a troca de combustíveis apresenta uma contrapartida no processo de refino. O combustível residual (HFO) passa por poucos processos de refino, a produção desse

---

<sup>37</sup> SCR – A redução catalítica seletiva é um método para reduzir as emissões dos gases NOx recolhidos na exaustão do motor. Para maiores detalhes consultar NIKOPOULOU e colab., (2012); SEDDIEK e ELGOHARY, (2014); e YANG e colab., (2018).

<sup>38</sup> Depurador - sistema ou aparelho usado para eliminar impurezas de fluidos líquidos ou gasosos. Para maiores detalhes sobre depuradores de SOx consultar KARAN, (2017); LINDSTAD e ESKELAND, (2020); MARÍA e colab., (2017); NIKOPOULOU e colab., (2012)

combustível emite menos gases de efeito estufa, ao passo que a produção de destilados e combustíveis mais leves, com teor de enxofre reduzido, obrigatoriamente emitem mais gases de efeito estufa durante o processo de refino (FORGET, 2010; GILBERT, 2014; LANE, 2011).

### **3. METODOLOGIA (INVERTER DE POSIÇÃO COM O TÓPICO ANTERIOR)**

Este trabalho classifica-se, pela sua abordagem, como uma pesquisa qualitativa (GODOY, 2005). A abordagem do trabalho procura descrever, compreender e explicar as relações existentes entre os assuntos percorridos. A avaliação da pesquisa qualitativa se dá pela profundidade com a qual o estudo é desenvolvido, e, conseqüentemente desenvolvido. Sua abordagem é densa, e se além a compreender as variáveis presentes no estudo, descrevendo e explicando-as de modo a relacioná-las entre si (SILVEIRA e GERHARDT, 2009).

O foco proposto é identificar os fatores para o problema em questão, além de descrevê-los, explorá-los e explicá-los, podendo, assim, ser definida como uma pesquisa de objetivo exploratório. A pesquisa qualitativa deve ser abundante em dados brutos e evidências (DUARTE e colab., 2009), assim, consegue-se demonstrar e explicar as conexões entre esses dados. Dessa forma, o objetivo de explorar o cenário proposto dentro da indústria marítima é alcançado de forma coesa. GIL (2008) afirma que a pesquisa exploratória visa proporcionar maior familiaridade com o problema. Logo, com os fatores presentes no cenário atual da indústria marítima sendo identificados, explorados, descritos e analisados, pode-se alcançar com êxito o objetivo proposto: apresentar o cenário atual dentro dessa indústria como uma oportunidade de catalisar seu desenvolvimento tecnológico, tornando as atividades mais eficientes e sustentáveis.

A coleta dos dados apresentados se deu por meio de pesquisa bibliográfica, a qual foi realizada através de seleção de diversos materiais; e.g, artigos científicos, relatórios técnicos de convenções e diários diversos de autores variados abordando aspectos distintos do assunto estudado. Para GIL (2008) a principal vantagem da pesquisa bibliográfica é que esta possibilita cobrir uma quantidade maior de casos. Ela permite explorar um único assunto analisando pontos de vista distintos; recurso esse utilizado na elaboração deste artigo. O cenário descrito neste trabalho foi estudado analisando aspectos distintos, porém relacionados entre si. A

relação desses aspectos de forma harmoniosa possibilitam traçar metas para otimizar as atividades marítimas e alcançar a sustentabilidade dentro dessa indústria.

#### 4. DISCUSSÃO E RESULTADOS

Conforme mencionado, e defendido por alguns estudiosos, a decisão da IMO de alterar o limite do teor de enxofre no combustível marítimo não se mostra uma solução adequada no longo prazo. A medida empregada, focada na redução dos índices de emissão de gases SOx e NOx não altera a emissão dos gases de efeito estufa.

Uma das mais claras consequências da decisão da IMO é o custo oneroso para as empresas de navegação se adequarem às novas normas. A redução do teor de enxofre nos combustíveis implica em despesas elevadíssimas para as mesmas, seja para adequarem suas embarcações com sistemas de depuração dos gases de exaustão, ou na aquisição de combustíveis destilados, tendo em alguns casos de alterar as configurações dos motores e tanques para usarem esses novos combustíveis. Fora a elevação dos preços dos produtos como resultado final do efeito cascata: aumento de custo com combustíveis, frete, tempo de operação nos portos, seguro da embarcação, redução da velocidade de navegação, chegando por fim ao aumento de preço nos produtos finais.

Analisando a questão das medidas operacionais para redução de emissões, tais como as CRO's, que, embora estejam ligadas à redução de gases de efeito estufa, também permitem reduzir a emissão de outros gases como o NOx e SOx, se medidas operacionais variadas forem implantadas mutuamente, as instalações portuárias deveriam participar ativamente para atingir índices de emissões junto as embarcações. Assim, além de contribuir para o controle ambiental, impulsionariam o desenvolvimento tecnológico, fomentariam a indústria e a economia, podendo obter bons retornos financeiros.

Para tal, os principais portos dos países com grande volume de cargas comercializadas; e.g. Hong Kong, China, Cingapura, Japão, EUA, a maior parte da Europa, dentre outros, teriam de atender as normas impostas para reduzir os índices de emissões de poluentes, e caberia aos seus respectivos governos fiscalizar as atividades portuárias certificando-se de que essas reduzam estes índices. Deve-se mencionar também que, em alguns casos, talvez a principal fonte energética destas estações

portuárias teriam de ser alteradas, pois se os navios não usarem seus geradores internos e passarem a usar a energia oriunda das estações portuárias; a fonte desta energia deve ser limpa, e.g. eólica ou hidrelétrica. Caso contrário, se a energia for do tipo suja; e.g. carvão, termoelétricas, gás natural; que emitem índices elevados de gases COx, NOx ou SOx, o efeito de redução por parte dos navios é anulado com um maior índice emitido pelos portos. Dessa forma, um sistema *cap and trade* para os portos mostra-se como uma opção viável. Além disso, se os navios não tiverem de queimar combustível durante suas operações nos portos, o índice de emissão desses seria mais facilmente atingido, permitindo um retorno financeiro mais rápido, incentivando o investimento em novas tecnologias.

Porém, se os papéis que as estações portuárias poderiam desempenhar em favor do controle ambiental, bem como seus avanços tecnológicos e investimentos forem desconsiderados, a melhor alternativa para os navios contribuírem de forma substancial para o controle ambiental seria por meio da conciliação de tecnologias (BOUMAN e colab., 2017; CALLEYA e colab., 2015; CRIST, 2009; LLOYD'S REGISTER, [S.d.]; NIKOPOULOU e colab., 2012; REHMATULLA e colab., 2017; SHARMINA e colab., 2017).

Tratando-se especificamente dos combustíveis, o fato de simplesmente reduzir o teor de enxofre não apresentar uma solução mais contundente, não significa que não se deve considerar o uso dos combustíveis alternativos.

Lamas e colab. (2015) aponta o hidrogênio como a melhor opção de uso futuro. O mesmo é inviável atualmente devido ao seu custo elevado apesar de que nos testes realizados com o uso de hidrogênio como combustível, os resultados apresentados quanto as emissões de gases apresentam somente uma contrapartida: as emissões de NOx são maiores, o que na prática não representa um problema, pois conforme exposto anteriormente, a redução desses pode ser alcançada com índices de até 95%. Contudo, atualmente, na relação custo-benefício no tocante aos combustíveis, o LNG se mostra como a melhor opção no curto a médio prazo. Seu preço é acessível, mais barato que MGO ou MDO, possui teor de enxofre reduzido e baixo índice de emissões de COx, o que permite atingir o EEDI requerido mais facilmente, além de apresentar fácil adaptabilidade. O modelo de navio proposto por Lindstad e colab. (2015) é equipado com motores capazes de queimar tanto LNG como os combustíveis residuais

e destilados, um grande avanço tecnológico e uma decisão inteligente no longo prazo.

Não obstante, caso os navios em atividade precisem de várias modificações para operar com LNG, essa opção torna-se inviável, pois seu armazenamento requer cuidados especiais e diversas adaptações devem ser feitas nos tanques de combustível dos navios para que esses conservem a pressão e temperatura exigida para o armazenamento do gás na forma líquida. Além disso, existe também o fato dessas alterações poderem causar um efeito contrário nas reduções das emissões de gases de efeito estufa por carga carregada devido à redução da capacidade de carga da embarcação. Além disso, diversas estações portuárias não estão devidamente estruturadas para fornecer o LNG em grandes quantidades (KOLWZAN e NAREWSKI, 2012; LINDSTAD, Haakon e colab., 2012; NIKOPOULOU e colab., 2012; SWEDISH MARITIME ADMINISTRATION, 2009) e seu carregamento é mais demorado se comparado ao HFO, o que gera atrasos e custos operacionais, logísticos e financeiros. Todos esses pontos devem ser analisados cuidadosamente na perspectiva da implantação do modelo EOS, onde os portos teriam de sofrer alterações, adaptações e receber investimentos pesados para que se popularize o uso de LNG nas próximas décadas.

Face ao exposto, pode-se afirmar que a melhor alternativa para as embarcações operando e que se encontram na metade de seu ciclo de vida, seria uma revisão por parte da IMO quanto às normas vigentes, para que essas embarcações não sejam descartadas prematuramente. Os resultados indicam que, no longo prazo, mitigar as emissões de forma isolada em vez de conjunta mostra-se inviável pois, assim, a indústria marítima contribuiria diretamente para o aquecimento global.

A complexidade da situação, somada às incertezas futuras quanto à viabilidade da atividade industrial marítima concernente aos efeitos no meio ambiente decorrentes das atividades desta indústria, acaba por envidar esforços e investimentos em novas tecnologias, uma vez que as novas medidas e implementações por parte da IMO serão mais restritas e aumentadas de forma gradativa. Essa realidade aponta para mudanças no curso dessa indústria que terá de ser engenhosa para se adequar e continuar operando de maneira eficiente e cada vez mais sustentável.

Assim, o resultado da análise desse cenário de mudanças é um conjunto de ações conciliatórias com as seguintes diretrizes:

- Implantar novas ECA's em diferentes partes do globo, reduzindo ainda mais as emissões de poluentes próximos a áreas de alta densidade demográfica;

- Rever a questão do combustível com teor de enxofre reduzido para navios mais antigos, e considerar o uso do combustível atual em mar aberto, uma vez que a média global usada já possui um índice inferior ao limite estabelecido pela IMO;

- Revisar a forma de cálculo do EEDI, não de forma genérica, mas analisando a particularidade de cada embarcação conforme exposto por CUDINA (2015);

- EOS em larga escala com foco em estruturação portuária para viabilizar o uso de LNG e popularizá-lo como combustível marítimo;

Incluir as estações portuárias para reduzirem os índices de emissões de poluentes e trabalharem junto com as embarcações para reduzir estes índices.

- Estudar modelos semelhantes ao *CAP AND TRADE* para incentivar os investimentos em tecnologias que mitiguem os índices de emissões das instalações portuárias; e

- Conciliação de tecnologias variadas e medidas operacionais; e.g, otimização de rotas baseadas nas correntes e condições climáticas, garantindo menor consumo de combustível, reduzindo automaticamente os índices de emissões de poluentes.

## 5. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma análise do cenário de mudanças que a indústria marítima enfrentará a partir de 2020 com a entrada em vigor dos novos limites do teor de enxofre nos combustíveis. A exposição e explicação da necessidade de conciliação de três aspectos distintos para atingir sustentabilidade levam a concluir que esse cenário de mudanças, de fato, pode ser considerado como um catalisador do desenvolvimento tecnológico nesse setor, uma vez que estas mudanças incentivam investimentos em pesquisas e desenvolvimentos de inovações tecnológicas.

Os resultados apresentados vão ao encontro de uma linha de ação que se mostra coerente e factível. Algumas das medidas propostas exigiriam esforços diplomáticos para serem concretizados, todavia, todas as propostas se atêm a ideia de atender ao controle ambiental de forma

eficaz, direta e sustentável, tratando o problema como um conjunto único com variáveis distintas relacionadas diretamente entre si.

Dentre as diversas áreas em estudo no setor, no tocante a engenharia, futuros estudos devem ser aprofundados no desenvolvimento de novos sistemas propulsores e motores que possam operar com combustíveis residuais, destilados e principalmente o LNG devido aos seus diversos aspectos favoráveis concernentes aos índices de emissões de poluentes.

Os estudos e desenvolvimentos tecnológicos devem visar o desenvolvimento de navios automatizados (não entendi a dúvida, o trecho a seguir esclarece de que automatização se trata...), com módulos de navegação variados para diferentes situações; e.g ECA, velocidade reduzida, correção automática de rumo de acordo com a corrente, vento e demais fatores externos.. A vinculação de ambas as áreas agregariam grande valor a indústria nos três aspectos analisados. A junção de navios com estas características, somadas à assistência por energia eólica junto com outras ferramentas automatizadas que traçam derrotas de acordo com as condições de mar e meteorológicas merece ser estudada com mais afinco. Atrair suas utilidades juntas ao SMI, provavelmente seja uma aposta alta em termos financeiros, porém com possibilidades reais de ganhos expressivos, podendo até mesmo definir uma tendência a ser adotada nos designs de embarcações futuras.

Portanto, após explorar e analisar os dados levantados neste trabalho, conclui-se que a eficiência esperada por parte da indústria marítima, respeitando e buscando mitigar os efeitos ao meio ambiente, será obtida através de investimentos financeiros atrelados à conciliação de tecnologias variadas de acordo com o propósito específico de cada embarcação.

# CHANGES IN THE MARITIME INDUSTRY AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT

## ABSTRACT

---

The aim of this paper is to present the challenges the Marine Industry is facing as an opportunity to expand the technological development as well as what actions and measures may be taken in order to conciliate the challenges of the targeted environmental control linked to the high efficiency of the activities performed by this industry. The methods used were qualitative bibliographic research with an exploratory approach. The results lead to conclude that the conciliation of technologies, together with a review by the IMO and efforts made by the port facilities to control the emissions of pollutants are the best courses of action to be taken in order to conciliate the present divergences with the current scenario along with the environmental control.

**Keywords:** Sulphur Oxide. Nitrogen Oxides. Green House Gases. Emission of pollutants.

## REFERÊNCIAS

ABS. Fuel Switching Advisory 2015. 2015.

ADAMCHAK, Frederick. LNG AS MARINE FUEL. p. 1–10, 2011.

ANEXO VI, MARPOL. Regras para a Prevenção da Poluição do Ar Causada por Navios. v. 78, n. 58, p. 1–41, 2010.

BALLINI, F. e BOZZO, R. Air pollution from ships in ports: The socio-economic benefit of cold-ironing technology. *Research in Transportation Business and Management*, v. 17, n. 2015, p. 92–98, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rtbm.2015.10.007>>.

BENTIN, Marcus e colab. A New Routing Optimization Tool-influence of Wind and Waves on Fuel Consumption of Ships with and without Wind Assisted Ship Propulsion Systems. *Transportation Research Procedia*, v. 14, p. 153–162, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.051>>.

BOUMAN, Evert A. e colab. State-of-the-art technologies, measures, and potential for reducing GHG emissions from shipping ? A review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 52, p. 408–421, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2017.03.022>>.

CALLEYA, J. e PAWLING, R. e GREIG, A. Ship impact model for technical assessment and selection of Carbon dioxide Reducing Technologies (CRTs). *Ocean Engineering*, v. 97, p. 82–89, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.oceaneng.2014.12.014>>.

CORBETT, James J e colab. Emissions Tradeoffs among Alternative Marine Fuels : Total Fuel Cycle Analysis of Residual Oil , Marine Gas Oil , and Marine Diesel Oil Emissions Tradeoffs among Alternative Marine Fuels : Total Fuel Cycle Analysis of Residual Oil , Marine Gas Oil , and Marine Diesel Oil. v. 2247, n. March, 2017.

CRIST, Phillipe. GHG emissions reduction potential from international shipping. *Romanian Journal of Fiscal Policy*, v. 3, n. 2, p. 48–57, 2009.

CUDINA, P. ANALYSIS OF THE ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX WITH A PROPOSAL FOR IMPROVEMENT. v. 66, n. 3, 2015.

DAVIES, P A e FORT, E. LNG as a marine fuel: Likelihood of LNG releases. v. 4177, n. July, 2017.

DEVANNEY, Jack. Efficient, Safe Reduction of CO2 Emissions from Shipping. Center for Tankership Excellence, 2011a.

DEVANNEY, Jack. Why EEDI won't work. Tanker operator, p. 14–16, 2011b.

DEVANNEY, Jack e BEACH, S. Eedi, a case study in indirect regulation of co2 pollution. Center for Tankship Excellence, On line at: [http:// ...](http://...), 2010. Disponível em: <<http://www.c4tx.org/ctx/pub/eedi.pdf>>.

DUARTE, Emeide Nóbrega e colab. Estratégias metodológicas adotadas nas pesquisas de iniciação científica premiadas na UFPB 10.5007/1518-2924.2009v14n27p170. Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação, v. 14, n. 27, p. 170–190, 2009.

EIDE, Magnus S. e colab. Future cost scenarios for reduction of ship CO2 emissions. Maritime Policy and Management, v. 38, n. 1, p. 11–37, 2011.

EYRING, V. e colab. Emissions from international shipping: 2. Impact of future technologies on scenarios until 2050. Journal of Geophysical Research D: Atmospheres, v. 110, n. 17, p. 183–200, 2005.

FONSECA, Maurílio. (Capitão-de-mar-e-guerra). VOLUME I. [S.l.: s.n.], 2006. v. I & II.

FORGET, Keith. The changing face of marine fuels and the effects on ship operators. Ship Efficiency conference, p. 8–9, 2010.

GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 4o edição ed. [S.l.]: Atlas, 2008.

GILBERT, P. e colab. The role of material efficiency to reduce CO2 emissions during ship manufacture: A life cycle approach. Marine Policy, v. 75, p. 227–237, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2016.04.003>>.

GILBERT, Paul. From reductionism to systems thinking: How the shipping sector can address sulphur regulation and tackle climate change. Marine Policy, v. 43, p. 376–378, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2013.07.009>>.

GODOY, Arilda Schimidt. Refletindo sobre critérios de qualidade da pesquisa qualitativa. Revista Eletrônica de Gestão Organizacional v.3. n.2, p. 81–89, 2005.

GUENT, Monique B Vermeire. Everything You Need to Know About Marine Fuels. Chevron Product Engineering Department, v. 27, p.

2009, 2012. Disponível em: <[https://www.chevronmarineproducts.com/content/dam/chevron-marine/Brochures/Chevron\\_EverythingYouNeedToKnowAboutFuels\\_v3\\_1a\\_DESKTOP.pdf](https://www.chevronmarineproducts.com/content/dam/chevron-marine/Brochures/Chevron_EverythingYouNeedToKnowAboutFuels_v3_1a_DESKTOP.pdf)>.

HAYMAN, Brian e colab. Technologies for reduced environmental impact from ships - Ship building , maintenance and dismantling aspects. ENSUS 2000 Marine Science and Technology for Environmental Sustainability Department of Marine Technology and Science and Coastal management, v. 1, p. 2–12, 2000.

HOBBS, Peter V e colab. Emissions from Ships with respect to Their Effects on Clouds. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 57, n. 16, p. 2570–2590, 2000. Disponível em: <[http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0469\(2000\)057%3C2570:EFSWRT%3E2.0.CO;2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0469(2000)057%3C2570:EFSWRT%3E2.0.CO;2)>.

HOPKINS, FRANCES E.; TURNER, SUZANNE M.; NIGHTINGALE, PHILIP D.; STEINKE, MICHAEL; BAKKER, DOROTHEE; LISS, PETER S.; BENDER, Michael L. Ocean acidification and marine trace gas emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 107, n. 2, p. 760–765, 2010.

IMO - INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. ANEXO VI – Regras Para Prevenção da Poluição do Ar por Navios. MARPOL 73/78. [S.l: s.n.], 2005.

IMO - INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION - Second IMO GHG study., 2009.

IMO - INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. MEPC.280(70) – Data da Implementação da padronização do óleo combustível marítimo sobre a regra 14.1.3 do Anexo VI da MARPOL, 2016. . [S.l: s.n.]. , 2016

KARAN, C 10 technologies/methods for controlling NO<sub>x</sub> e SO<sub>x</sub> emissions from ships.

KASPER, A. e colab. Particulate Emissions from a Low-Speed Marine Diesel Engine. *Aerosol Science and Technology*, v. 41, n. February 2015, p. 24–32, 2007.

KEDZIERSKI, Antoine. Sulphur in marine fuels.

KOŁWZAN, K e NAREWSKI, M. Alternative Fuels for Marine Applications. *Latvian Journal of Chemistry*, n. 4, p. 398–406, 2012.

KUMAR, Satish e colab. LNG : An eco-friendly cryogenic fuel for

sustainable development. *Applied Energy*, v. 88, n. 12, p. 4264–4273, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.06.035>>.

LAI, Kee-hung e colab. Resources , Conservation and Recycling Green shipping practices in the shipping industry : Conceptualization , adoption , and implications. “Resources, Conservation & Recycling”, v. 55, n. 6, p. 631–638, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.12.004>>.

LAMAS, M. I. e colab. Numerical Analysis of Emissions from Marine Engines Using Alternative Fuels. *Polish Maritime Research*, v. 22, n. 4, p. 48–52, 2015.

LANE, Michael. Low sulphur marine fuel options : Technical , environmental & economic aspects Maritime Stakeholder Event. 2011, [S.l.]: Maritime Stakeholder Event, 2011.

LARKIN, Alice e SMITH, Tristan e WROBEL, Paul. Shipping in changing climates. *Marine Policy*, v. 75, p. 188–190, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2016.05.033>>.

LAZARIDIS, Mihalis e colab. An Assessment of Air Emissions from Liquefied Natural Gas Ships Using Different Power Systems and Different Fuels. *Journal of the Air & Waste Management Association*, v. 58, n. 3, p. 404–411, 2008. Disponível em: <<http://secure.awma.org/onlinelibrary/doihandler.aspx?doicode=10.3155-1047-3289.58.3.404>>.

LINDSTAD, Haakon e colab. Maritime shipping and emissions: A three-layered, damage-based approach. *Ocean Engineering*, v. 110, p. 94–101, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.09.029>>.

LINDSTAD, Haakon e ASBJØRNSLETT, Bjørn E. e STRØMMAN, Anders H. The importance of economies of scale for reductions in greenhouse gas emissions from shipping. *Energy Policy*, v. 46, p. 386–398, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.03.077>>.

LINDSTAD, Haakon e ASBJØRNSLETT, Bjørn E. e STROMMAN, Anders H. Reductions in greenhouse gas emissions and cost by shipping at lower speeds. *Energy Policy*, v. 39, n. 6, p. 3456–3464, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.03.044>>.

LINDSTAD, Haakon E e ESKELAND, Gunnar S. Environmental regulations in shipping : Policies leaning towards globalization of scrubbers deserve scrutiny. *Transportation Research Part D*, v. 47, n. 2016,

p. 67–76, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2016.05.004>>.

LISS, PETER S.; HATTON, ANGELA D.; MALIN, GILL; NIGHTINGALE, PHILIP D.; TURNER, Suzanne M. Marine Sulphur emissions [and discussion] Atmospheric chemistry of Sulphur in relation to aerosols, clouds and climate. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, v. 352, n. 1350, p. 159–169, 1997.

LLOYD'S REGISTER. *Global Marine Technology Trends 2030* Global Marine Technology Trends 2030. [S.d.].

MANAADIAR, Hariesh. Difference between Maritime, Shipping, Freight, Logistics and Supply Chain. Disponível em: <<https://www.shippingandfreightresource.com/difference-maritime-shipping-freight-logistics-supply-chain/#>>. Acesso em: 20 jul 2020.

MARÍA, Luis e GOICOECHEA, Nestor e GALARRAGA, Ibon. Adapting the shipping sector to stricter emissions regulations : Fuel switching or installing a scrubber ? *Transportation Research Part D*, v. 57, p. 237–250, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2017.09.017>>.

MARLE, Gavin Van. Wind Technology could give shipping lines double digit fuel savings. Disponível em: <<https://theloadstar.co.uk/wind-technology-could-give-shipping-lines-double-digit-fuel-savings/>>. Acesso em: 4 abr. 2017.

NIKOPOULOU, Z e CULLINANE, K e JENSEN, A. The role of a cap-and-trade market in reducing NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub> emissions: Prospects and benefits for ships within the Northern European ECA. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, v. 227, n. 2, p. 136–154, 2012. Disponível em: <[http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84880552063&partnerID=tZOtx3y1%5Cnfile:///D:/BoxSync/baldif/Articles/Journal papers/NIKOPOULOU - The role of a cap-and-trade market in reducing NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub> emissions.pdf](http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84880552063&partnerID=tZOtx3y1%5Cnfile:///D:/BoxSync/baldif/Articles/Journal papers/NIKOPOULOU - The role of a cap-and-trade market in reducing NOx and SOx emissions.pdf)>.

PETROBRAS. *Manual Técnico de Combustíveis Marítimos*. Manual Técnico de Combustíveis Marítimos. [S.l.: s.n.], 2012.

POSPIECH, Peter. Improved propulsive efficiency by weakening the propeller hub vortex. Disponível em: <<http://articles.maritimepropulsion.com/?page=14>>. Acesso em: 4 abr. 2017.

REHMATULLA, Nishatabbas e CALLEYA, John e SMITH, Tristan. The

implementation of technical energy efficiency and CO<sub>2</sub> emission reduction measures in shipping. *Ocean Engineering*, v. 139, n. May, p. 184–197, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.04.029>>.

RELATIVO, E L A. Resolução mepc.203(62). v. 203, n. 62, 2012.

ROBERTSON, James S. Basic principles of ship propulsion. *Compartmental Distribution of Radiotracers*, p. 11–28, 2017.

SEDDIEK, Ibrahim S. e ELGOHARY, Mohamed M. Eco-friendly 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*, v. 6, n. 3, p. 737–748, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2478/IJNAOE-2013-0209>>.

SHARMINA, Maria e colab. Global energy scenarios and their implications for future shipped trade. *Marine Policy*, v. 84, n. April, p. 12–21, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2017.06.025>>.

SILVEIRA, Denise Tolfo. e GERHARDT, Tatiana Engel. A pesquisa científica. [S.l.: s.n.], 2009.

SMITH, T.W.P; ANDERSON, B.A; CORBETT, J.J; PARKER, S; WINEBRAKE, J.J; CHESWORTH, S.; PANDEY, A. *Third IMO Greenhouse Gas Study.*, 2014.

SWEDISH MARITIME ADMINISTRATION. Consequences of the IMO's new marine fuel sulphur regulations. p. 85, 2009.

THANOPOULOU, Helen e STRANDENES, Siri Pettersen. A theoretical framework for analysing long-term uncertainty in shipping. *Case Studies on Transport Policy*, v. 5, n. 2, p. 325–331, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cstp.2017.03.008>>.

UNFCCC. Adoption of the Paris Agreement. *Experimental Mechanics*. [S.l.: s.n.], 2015. Disponível em: <<https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>>.

USHAKOV, Sergey e colab. Effects of high sulphur content in marine fuels on particulate matter emission characteristics. *Journal of Marine Engineering & Technology*, v. 12:3, n. September, 2013.

VANDEBROEK, L. e BERGHMANS, J. Safety aspects of the use of LNG for marine propulsion. *Procedia Engineering*, v. 45, p. 21–26, 2012. Disponível

em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.114>>.

VIERTH, Inge e KARLSSON, Rune e MELLIN, Anna. Effects of more stringent sulphur requirements for sea transports. *Transportation Research Procedia*, v. 8, p. 125–135, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2015.06.048>>.

WALSH, Conor e MANDER, Sarah e LARKIN, Alice. Charting a low carbon future for shipping : A UK perspective. v. 82, n. April, p. 32–40, 2017.

WAN, Zheng e CHEN, Yang e TANG, Jiayuan. Decarbonizing the international shipping industry : Solutions and policy recommendations. v. 126, n. September 2017, p. 428–435, 2018.

WANG, Haifeng e LUTSEY, Nicholas. Long-Term Potential to Reduce Emissions from International Shipping by Adoption of Best Energy-Efficiency Practices. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 2426, p. 1–10, 2014. Disponível em: <<http://trrjournalonline.trb.org/doi/10.3141/2426-01>>.

WINNES, Hulda e FRIDELL, Erik. Particle emissions from ships: dependence on fuel type. *Journal of the Air & Waste Management Association* (1995), v. 59, n. 12, p. 1391–1398, 2009.

WINNES, Hulda e STYHRE, Linda e FRIDELL, Erik. Reducing GHG emissions from ships in port areas. *Research in Transportation Business and Management*, v. 17, p. 73–82, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rtbm.2015.10.008>>.

YANG, Shaolong e colab. Removal of NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> from simulated ship emissions using wet scrubbing based on seawater electrolysis technology. *Chemical Engineering Journal*, v. 331, n. x, p. 8–15, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2017.08.083>>.

ZACHARIADIS, Panos. EEDI explained (!). 2011.

ZHENJU, Chuang. Reducing CO<sub>2</sub> emissions from shipping. Disponível em: <<http://gronnfase.blogspot.com/2013/07/wind-assisted-propulsion-of-ships.html>>

Recebido em: 28/01/2020

Aceito em: 04/08/2020