

ÁGUA DE LASTRO – problema e soluções*

WILLIAM ROMÃO BATISTA**
Capitão de Fragata (EN)

SUMÁRIO

Introdução
O problema
As soluções tecnológicas aprovadas
Desinfecção eletrolítica (eletrocloração)
Desinfecção por radiação ultravioleta
Desinfecção convencional com biocidas
Considerações finais

INTRODUÇÃO

Ao longo da história envolvendo o homem e o mar, o transporte marítimo foi o que permitiu transcender a visão do comércio regional e abrir caminhos para a expansão de fronteiras. Além de influenciar diretamente o progresso da humanidade, ele também se tornou o principal respon-

sável pela circulação de mercadorias pelo globo, onde, atualmente, navios graneliros, navios-tanque, de carga geral e porta-contêiners são as principais ferramentas usadas, com as quais mais de 80% de todo o comércio mundial é concretizado^{[1] e [2]}.

Para dimensionar o cenário atual, um levantamento da frota mundial de navios mercantes com arqueação bruta acima de

* Este trabalho é produto de estágio extraordinário realizado em parceria com o Laboratório de Síntese e Análise de Produtos Estratégicos (Lasape) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) nas dependências do Smithsonian Environmental Research Center (Serc), Maryland, Estados Unidos da América (EUA), sobre a química associada às técnicas de tratamento de água de lastro. É resumo do problema relacionado com o transporte de organismos marinhos invasores por água de lastro e as principais tecnologias atualmente aplicadas na sua desinfecção a bordo de navios.

** Doutor e mestre em Química pelo programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química da UFRJ. Engenheiro Químico pela Escola de Química da UFRJ. Coinventor em quatro patentes tecnológicas depositadas pela Marinha do Brasil. Designado para o Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM).

100 GT¹, realizado pela Associação Japonesa de Construtores de Navios (SAJ), registrou, com base no fechamento do ano de 2016, um total próximo a 114 mil unidades operativas e citou uma demanda, dependente de fatores econômicos, de cerca de cinco mil novas unidades para o ano de 2017^[3].

Apesar de o fator econômico ser um notório aspecto que afeta diretamente o transporte marítimo e a indústria naval, mais recentemente fatores ambientais também passaram a impactar estes setores, em que regulações internacionais e também de governos locais têm se tornado mais incisivas sobre possíveis impactos ambientais causados por navios^[4] e^[5]. Como resultado, navios passaram a ser mais monitorados quanto às suas potenciais fontes de poluição, tais como águas servidas, descarte de lixo, poluição atmosférica, poluição sonora, poluição por óleo, biocidas presentes em tintas anti-incrustantes e também possíveis organismos invasores transportados, quer estejam agarrados ao casco do navio ou no meio de sua água de lastro^[6].

Assim, a água de lastro, antes somente um problema relacionado à operacionalidade do navio e restrito aos setores de transporte marítimo e da indústria naval, passou também a ser, para o mundo globalizado, uma preocupação relacionada às questões ambientais.

O PROBLEMA

A água de lastro é um enorme volume de água que se embarca em compartimentos específicos do navio, os tanques

de lastro, e que pode, em alguns casos, chegar a mais de 100 mil m³. Ela é imprescindível para manter a estabilidade e a integridade estrutural do navio em diferentes operações, sendo frequentemente embarcada, transferida entre tanques de lastro e descarregada para o meio ambiente^[7]. Apesar de sua importância para uma segura operação do navio, a água de lastro é também reconhecida, juntamente com a bioincrustação presente no casco do navio (obras-vivas), como um dos principais vetores para introdução de espécies aquáticas potencialmente invasoras^[8] e^[9].

Exemplos atuais e icônicos, tais como o mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*), introduzido no Brasil, e o mexilhão zebra (*Dreissena polymorpha*), introduzido nos Estados Unidos e na Europa, podem ser citados como de espécies não nativas que reconhecidamente

foram introduzidas por meio da água de lastro e se tornaram espécies invasoras causadoras de enormes problemas econômicos e ambientais^[10] e^[11].

Não obstante os incontáveis estudos, discussões e deliberações, envolvendo governos, órgãos reguladores, cientistas e indústria, em que se destaca a preocupação mundial sobre a extensão do impacto econômico e do desequilíbrio ecológico associado ao crescente número de espécies marinhas invasoras introduzidas por água de lastro, pode-se inferir que há desapontamento nos resultados alcançados para eliminar tal problema, haja vista sua complexidade e que ainda são poucas as tecnologias que têm sido aprovadas para sua mitigação^[12].

A água de lastro passou a ser, para o mundo globalizado, uma preocupação relacionada às questões ambientais

¹ GT (*gross tonnage*). Medida que relaciona o tamanho do navio ao seu volume interno estrutural (V_i) em metros cúbicos. $GT = V_i (0,2 + 0,02 \log V_i)$.

AS SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS APROVADAS

Devido a inúmeros fatores, não é coerente generalizar que uma espécie não nativa se tornará uma espécie invasora somente por ter sido introduzida em um novo ambiente. Contudo, caso ela se torne uma espécie invasora, certamente causará imensuráveis prejuízos ambientais, econômicos e sociais^[13-15].

Deste modo, entende-se que ações que possam diminuir a possibilidade de um organismo se tornar invasor devem ser aplicadas. Atualmente, a ação mais amplamente aceita visando mitigar os

possíveis efeitos danosos provocados pelo uso da água de lastro ao meio ambiente tem sido a adoção e o uso adequado de sistemas para o gerenciamento da água de lastro.

Usualmente, os BWMS (do inglês Ballast Water Management System) empregam processos físicos e químicos de desinfecção que visam reduzir o número de organismos presentes na água de lastro a ser descarregada pelo navio. Eles são projetados, de um modo geral, para aten-

der a especificações definidas pela Organização Marítima Internacional (IMO) e preconizadas na Convenção Internacional para o Controle e Gerenciamento da Água de Lastro e Sedimentos dos Navios^[16].

Esta Convenção, nascida em 2004 e contando com 172 países signatários, incluso o Brasil, entrou em vigor em 8 de setembro de 2017 e tem por propósito prevenir, minimizar e eliminar os riscos

ao meio ambiente e à sociedade relacionados com a transferência de organismos indesejáveis por descargas de água de lastro, além de propiciar a harmonização e o desenvolvimento das possíveis tecno-

logias usadas para o tratamento de água de lastro. Assim, um BWMS deve atender às diretrizes (*guidelines*) no tocante ao seu projeto, construção e desempenho. É considerado como principal requisito o atendimento ao desempenho biológico relacionado aos limites permitidos de concentração de organismos presentes na água de lastro descarregada (ver Tabela 1), originalmente descrito na Seção D, regulação D-2, do anexo da Convenção^[16-18].

A ação visando mitigar efeitos danosos da água de lastro ao meio ambiente tem sido a adoção e o uso de sistemas para seu gerenciamento

Organismos (menor dimensão)	Concentração máxima permitida
Tamanho $\geq 50 \mu\text{m}$ Tamanho $\geq 10 \mu\text{m}$ e $< 50 \mu\text{m}$	< 10 organismos viáveis por metro cúbico < 10 organismos viáveis por mililitro
Micróbios (padrão para saúde humana)	
<i>Vibrio cholera</i> (serotypes O1 and O139)	< 1 UFC por 100 mililitros
<i>Escherichia coli</i>	< 250 UFC por 100 mililitros
<i>Enterococci</i>	< 100 UFC por 100 mililitros

UFC – Unidades formadoras de colônias. Método de contagem estimativa do número de bactérias viáveis existentes em uma amostra.

Tabela 1 – Concentrações-limites por organismos em descargas de água de lastro (IMO 2004)

Cabe ressaltar que a lista de diretrizes é extensa e abrange pontos considerados cruciais para aprovação de um BWMS e também para se colocar em prática a Convenção, incluindo requisitos gerais de avaliação de desempenho, amostragem e tratamento químico.

De um modo geral, as tecnologias empregadas em sistemas de tratamento de água de lastro podem ser separadas em duas categorias: aquelas que, direta ou indiretamente, empregam substâncias ativas, ou produzam substâncias relevantes, na desinfecção da água de lastro e aquelas que não as empregam. Esta categorização é de suma importância para atender à Convenção, pois sistemas que fazem uso de substâncias ativas devem, adicionalmente, cumprir os requisitos, abundantes e pormenorizados, definidos pela diretriz G-9 da IMO^[17].

Uma “substância ativa” é considerada, no contexto da Convenção, como quaisquer substâncias ou organismos, incluindo vírus ou fungo, especificamente usados no processo de desinfecção da água de lastro e que tenha ação, geral ou específica, contra organismos aquáticos nocivos e patogênicos (IMO 2008). Adicionalmente, uma “substância relevante” é qualquer substância, perigosa à saúde humana ou ao meio ambiente, que venha a existir durante qualquer etapa do tratamento, inclusive substâncias que venham a se formar no ambiente receptor devido à descarga da água de lastro^[17].

Na Circular 34/Rev.6 de 27 de julho de 2017, divulgada pela IMO, é possível verificar que, entre aqueles sistemas que, em acordo com a diretriz G-9, fazem uso de substâncias ativas, 58 sistemas receberam a aprovação básica e ainda encontram-se sob avaliação; 42 sistemas receberam aprovação final de uso, em que 49% usam cloração eletrolítica para a redução de organismos presentes na água de lastro; 22%

empregam cloração convencional usando hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio ou dicloroisocianurato de sódio; 12% usam desinfecção por meio de radiação ultravioleta; 9% usam desinfecção com ozônio, 7% usam ácido peracético com peróxido de hidrogênio e não há menção de sistemas usando qualquer tipo de organismo^[19].

Adicionalmente, uma lista divulgada pela IMO traz um total de 73 sistemas que dispõem de uma certificação Tipo Aprovada (*Type Approval*), conferida por um órgão ou sociedade devidamente reconhecida pela IMO, dos quais 44 sistemas são informados como não utilizando substâncias ativas em seus processos^[20].

Apesar de processos tais como floculação, cavitação e ultrassom serem representativamente negligenciáveis, processos de filtração são usados como procedimento coadjuvante em mais de 60% dos sistemas listados, e é possível concluir que a filtração é um estágio usado para reter e remover organismos normalmente maiores que 50 μm e, o estágio posterior, quer seja um tratamento químico, que age destruindo membranas celulares, ou quer seja um tratamento físico-químico, que age produzindo danos às proteínas e aos ácidos desoxirribonucleicos, visa matar os micro-organismos restantes ou torná-los inviáveis, ou seja, incapazes de se desenvolverem ou de se reproduzirem.

Cabe mencionar que, além da eficácia no atendimento ao desempenho biológico, outros fatores, tais como impacto ambiental, segurança na operação e facilidade de uso, também são requisitos para um sistema de tratamento de água de lastro. De fato, tais pontos devem ser devidamente avaliados, imperando a questão de saber se os processos de desinfecção, usados pelo sistema proposto, são amigáveis ao meio ambiente, seguros para serem operados pela tripulação e também eficientes^{[7], [21] e [22]}.

DESINFECÇÃO ELETROLÍTICA (ELETROCLORAÇÃO)

Sistemas que usam desinfecção eletrolítica se utilizam do poder oxidante do ácido hipocloroso (HOCl) formado a partir da reação do gás cloro (Cl₂), produzido por eletrólise, com a água a ser tratada^{[23] e [24]}. Na verdade, ambas substâncias, o Cl₂ e o HOCl, possuem poderosa ação oxidante^[25]. Em geral, este tipo de sistema pode atuar por cloração direta, ou seja, quando o Cl₂ é produzido por eletrólise direta da água de lastro, ou por cloração indireta, quando a eletrólise ocorre em um tanque isolado e o HOCl produzido é posteriormente injetado no tanque de lastro^[26].

A cinética das reações químicas envolvidas neste tipo de sistema (Tabela 2) permite verificar que sua eficiência é diretamente dependente das concentrações molares de íons hidrogênio [H⁺] e cloreto [Cl⁻] existindo durante a eletrólise. Uma baixa concentração de [H⁺] implicará um deslocamento durante a dissociação do HOCl em favorecimento à formação do íon hipoclorito [OCl⁻], um oxidante muito menos ativo que o HOCl, o que diminuirá a eficiência deste tipo de sistema quando usado em água de lastro com pH maiores que 7, caso típico da água do

mar, a qual geralmente apresenta um pH na faixa de 8^[27].

De fato, visando contornar tal óbice químico, um procedimento de carbonatação tem sido proposto para acidificar a água de lastro a ser tratada, em que gás carbônico (CO₂), normalmente produzido pela queima do combustível, é injetado diretamente na água a ser tratada, acidulando-a e, conseqüentemente, aumentando a concentração de [H⁺] disponível para a formação de HOCl^[28]. Neste caso, para que se possa propriamente controlar tal processo suplementar, uma equipagem adicional deverá ser instalada a bordo e, logicamente, envolverá reprojeção e custo adicionais.

Ainda com base nas reações químicas envolvidas, baixas concentrações de [Cl⁻] irão diminuir a produção de Cl₂, reduzindo a produção de HOCl e, conseqüentemente, também a eficiência do sistema. Fato é que este é um problema real relacionado àquelas águas com baixa salinidade, ou seja, baixa concentração de [Cl⁻], normalmente encontradas em vários estuários e ambientes de água doce, e que irá requerer o uso de eletrodos especiais e também causar o aumento do consumo de energia elétrica empregado pelo sistema de eletrólise ao se tentar gerar uma adequada concentração de Cl₂^[29, 30].

Processos	Reações químicas envolvidas
Solvatação	$\text{NaCl}_{(s)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{H}^+_{(aq)} + \text{OH}^-_{(aq)} + \text{Na}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)}$
Eletrólise: (catodo) (anodo)	$2\text{H}^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow \text{H}_{2(g)}$ $2\text{Cl}^-_{(aq)} \rightarrow \text{Cl}_{2(g)} + 2e^-$
Hidrólise	$\text{Cl}_{2(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{HOCl}_{(aq)} + \text{H}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)}$
Dissociação	$\text{HOCl} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OCl}^-$ $\text{Constante de dissociação, } K_{a(T)} = \frac{[\text{H}^+][\text{OCl}^-]}{[\text{HOCl}]}$

(aq) aquoso; (e⁻) elétron; (g) gasoso; (l) líquido; (s) sólido

Tabela 2 – Processos e reações químicas relacionados a um sistema de desinfecção eletrolítica

Outros importantes aspectos deste sistema, e que estão relacionados à segurança do navio, são o acúmulo de gás hidrogênio, que pode aumentar o risco de fogo e explosões, e a possibilidade da aceleração das taxas de corrosão do aço carbono usado nos tanques e tubulações, devido à presença de diferentes agentes oxidantes formados durante o processo^[31] e ^[32].

Na verdade, procedimentos e mecanismos de detecção e ventilação de gases e também testes de corrosão têm sido recomendados pela IMO aos fabricantes de BWMS que usam eletrocloração, tendo em vista que quaisquer potenciais fontes de fogo, explosões e aumento das taxas de corrosão irão comprometer a segurança do navio e da tripulação^[18] e ^[33].

DESINFECÇÃO POR RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

Sistemas que usam radiação ultravioleta têm como vantagem não se utilizarem de produtos químicos e também

não necessitarem de pós-tratamentos para a neutralização da água de lastro descarregada para o meio ambiente. Entretanto, tais sistemas geralmente requerem um cuidadoso controle na operação para que possa manter sua eficiência; como exemplo, é reconhecido que a presença, na água a ser tratada, de altas concentrações de matéria orgânica dissolvida e alta turbidez implica perda de eficiência no tratamento com radiação ultravioleta^[34].

Também desfavoravelmente, trabalhos têm identificado a inesperada presença de subprodutos de desinfecção por radiação ultravioleta, tais como aldeídos e com-

postos organohalogenados^[35] e também que, devido à capacidade de alguns micro-organismos serem resilientes à radiação ultravioleta ou se autorrepararem dos danos causados pela radiação recebida, esta tecnologia requer que uma correta relação dose de irradiação *versus* tempo seja aplicada para sobrepujar tal problema e, assim, poder manter a eficiência do tratamento^[36] e ^[41].

Adicionalmente às questões mencionadas, sistemas usando radiação ultravioleta também necessitam de extracapacidade de energia elétrica disponível a bordo, normalmente na faixa de 60 a 200 kWh por mil toneladas de água tratada^[42].

DESINFECÇÃO CONVENCIONAL COM BIOCIDAS

Sistemas de tratamento de água de lastro que fazem uso de (ou pretendem usar) substâncias ativas (biocidas) devem cumprir com todas as regulações adicionais previstas

pelos regulamentos da IMO em sua diretriz G-9^[7]. E, principalmente, eles devem ser seguros e não prejudiciais para a tripulação e para o meio ambiente.

Todavia, outros fatores, como o pleno atendimento às regulações locais e a aceitação do seu uso pela sociedade, também impactam o uso de biocidas por este setor. E, no caso de novos biocidas, tais óbices são ainda mais restritivos, desde que testes de caracterização de sua atividade e seu registro oficial devem ser completados antes de seu emprego comercial.

Apesar de necessários, todos estes requerimentos adicionais são laboriosos,

Navios que possuam e operem corretamente seus sistemas de tratamento de água de lastro têm a possibilidade de proteger as águas costeiras de qualquer país

demorados e caros, e talvez por esta razão, durante a última década, um pouco mais de 40 sistemas usando substâncias ativas receberam uma aprovação de uso pela IMO. Ademais, entre estes sistemas atualmente aprovados pela IMO, somente podemos relacionar o uso das seguintes substâncias químicas: hipoclorito de cálcio, ácido peracético, cloridrato de alumínio, clorato de sódio, di-isocianurato de sódio e hipoclorito de sódio^{[19] e [43]}.

Contudo, é necessário enfatizar que nenhum desses sistemas usam um biocida ambientalmente correto. Na verdade, somente três produtos comerciais isentos de metais e compostos halogenados foram submetidos a testes visando a seus usos em sistemas de tratamento de água de lastro: Mexel[®]432, uma mistura de alquil aminas caracterizadas por terem uma baixa taxa de biodegradabilidade^[44]; SeaKleen[®], uma naftoquinona com ação bactericida pobre contra *E. Coli*^{[45] e [48]}; e o ácido peracético, reconhecido como uma substância instável, corrosiva e irritante^{[49] e [51]}.

Embora a ideia de um *green* biocida sem metal ou compostos halogenados, prontamente biodegradável e não persistente no ambiente, com baixo padrão de bioacumulação e alvo de ação específico, possa ser perfeitamente plausível, a indústria do segmento de BWMS não tem se movido nesta direção. Na verdade, a ausência de um eficiente biocida ambientalmente correto também tem sido sentida pela indústria naval na prevenção da incrustação nos cascos dos

navios, mesmo considerando que um biocida ambientalmente correto pode ser uma grande solução para ambos os segmentos, água de lastro e pintura anti-incrustante de navios.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não há dúvida de que o problema da transferência de organismos invasores por água de lastro permanece uma questão ambiental ainda não totalmente solucionada. Entretanto, uma correta escolha e um correto uso de um BWMS têm um grande potencial como mitigadores deste problema mundial. De fato, entende-se que navios que possuam e operem corretamente seus sistemas de tratamento de água de lastro têm a possibilidade de proteger as águas costeiras de qualquer país. Versatilidade, alta eficiência, operação simples, manutenção fácil e ser seguro e ambientalmente correto são as características mais desejáveis para tais sistemas de desinfecção. Entretanto, seja devido às incertezas tecnológicas ou aos custos associados ao desenvolvimento, o avanço tecnológico neste setor não é tão rápido como desejado, e ainda são poucas as soluções disponíveis. No entanto, ainda há espaço para o melhoramento dos sistemas existentes e para desenvolvimento, teste e implementação de novas tecnologias. E, por este motivo, o desenvolvimento e a utilização de biocidas ambientalmente corretos, os chamados *green* biocidas, não devem ser desconsiderados.

📁 CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:
<MEIO AMBIENTE>; Água de lastro; Poluição do mar;

REFERÊNCIAS

- [1] Paine L. *The sea and civilization: a maritime history of the world*. Vintage Books. New York. USA. 2015. ISBN. 978-0-307-96225-6
- [2] IMO – International Maritime Organization. Introduction to IMO. Disponível em: <http://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx>. Acessado em Outubro 2017.
- [3] SAJ – The Shipbuilders' Association of Japan. Updated shipbuilding statistics April, 2017. https://www.sajn.or.jp/files/view/articles_doc/src/73265e1329b4a8e0ae4fe4bcf31c7e5b.pdf. Acessado em: 01 Outubro 2017.
- [4] Andersson, K.; Brynolf, S.; Lindgren, J. F.; Wilewska-Bien, M. *Shipping and the Environment: Improving Environmental Performance in Marine Transportation*; 2016. ISBN 9783662490457.
- [5] Linné, P.; Svensson, E. Regulating pollution from ships. In *Shipping and the Environment: Improving Environmental Performance in Marine Transportation*; 2016; pp. 75–121 ISBN 9783662490457.
- [6] Lindgren, J. F.; Wilewska-Bien, M.; Granhag, L.; Andersson, K.; Eriksson, K. M. Discharges to the sea. In *Shipping and the Environment: Improving Environmental Performance in Marine Transportation*; 2016; pp. 125–168 ISBN 9783662490457.
- [7] David, M.; Gollasch S. Vessels and ballast water. In *Global Maritime Transport and Ballast Water Management (Invading Nature Springer Series in Invasion Ecology)*; Springer: Berlin, Germany, 2015; pp. 13–34.
- [8] Streftaris, N.; Zenetos, a; Papatthanassiou, E. Globalisation in marine ecosystems: the story of non-indigenous marine species across European seas. *Oceanogr. Mar. Biol. An Annu. Rev.* 2005, 43, 419–453.
- [9] Ruiz, G.M.; Fofonoff, P.W.; Steves, B.P.; Carlton, J.T. Invasion history and vector dynamics in coastal marine ecosystems: A North American perspective. *Aquat. Ecosyst. Health* 2015, 18, 299–311.
- [10] Boltovskoy, D.; Correa, N. Ecosystem impacts of the invasive bivalve *Limnoperna fortunei* (golden mussel) in South America. *Hydrobiologia* 2014, 746, 81–95.
- [11] Karatayev, A. Y.; Burlakova, L. E.; Mastitsky, S. E.; Padilla, D. K. Predicting the spread of aquatic invaders: Insight from 200 years of invasion by zebra mussels. *Ecol. Appl.* 2015, 25, 430–440, doi:10.1890/13-1339.1.sm.
- [12] Bailey, S. An overview of thirty years of research on ballast water as a vector for aquatic invasive species to freshwater and marine environments. *Aquat. Ecosyst. Health* 2015, 18, 261–268.
- [13] Bax, N.; Williamson, A.; Agüero, M.; Gonzalez, E.; Geeves, W. Marine invasive alien species: A threat to global biodiversity. *Mar. Policy* 2003, 27, 313–323. doi:10.1016/S0308-597X(03)00041-1.
- [14] Lovell, S. J.; Stone, S. F. The Economic Impacts of Aquatic Invasive Species : A Review of the Literature. *NCEE Work. Pap. Ser.* 2005, 64.
- [15] Katsanevakis, S.; Wallentinus, I.; Zenetos, A.; Leppäkoski, E.; Çinar, M. E.; Oztürk, B.; Grabowski, M.; Golani, D.; Cardoso, A. C. Impacts of invasive alien marine species on ecosystem services and biodiversity: A pan-European review. *Aquat. Invasions* 2014, 9, 391–423, doi:10.3391/ai.2014.9.4.01.
- [16] IMO - International Maritime Organization. Ballast Water Conference International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, 2004. In *International Conference on Ballast Water Management for Ships*; 2004; pp. 1–37.
- [17] IMO - International Maritime Organization. Procedure for Approval of Ballast Water Management Systems that Make Use of Active Substances (G9). In *Resolution MEPC 169 (57)*; 2008.

- [18] IMO - International Maritime Organization. Guidelines for Approval of Ballast Water Management Systems (G8). In *Resolution MEPC 279(70)*; 2016.
- [19] IMO - International Maritime Organization. International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, 2004. List of ballast water management systems that make use of Active Substances, which received Basic, and Final Approval. BWM.2/Circ.34/Rev.6; 2017.
- [21] Balaji, R.; Yaakob, O.; Koh, K.K. A review of developments in ballast water management. *Environ. Rev.* 2014, 22, 298–310.
- [22] Vorkapic, A.; Komar, I.; Mrcelic, G.J. Shipboard Ballast Water Treatment Systems on Seagoing Ships. *Trans. Marit. Sci.* 2016, 1, 19–28.
- [20] IMO - International Maritime Organization. Table 3: List of ballast water management systems which received Type Approval Certification by their respective Administrations Resolutions MEPC.175(58) and MEPC.228(65). Disponível em: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Documents/Table%20of%20BA%20FA%20TA%20updated%20August%202017.pdf> Acessado em Dezembro 2017.
- [23] Kelsall, G.H. Hypochlorite electro-generation. I. A parametric study of a parallel plate electrode cell. *J. Appl. Electrochem.* 1984, 14, 177–186.
- [24] Krstajic, N. Hypochlorite production II. Direct electrolysis in a cell divided by anionic membrane. *J. Appl. Electrochem.* 1991, 21, 637–641.
- [25] NRC - National Research Council. *Drinking Water and Health, Volume 7: Disinfectants and Disinfectant By-Products*. National Academy of Sciences: Washington, DC, USA, 1987; 212p. ISBN:0-309-55504-3.
- [26] Kim, E.C.; Oh, J.H.; Lee, S.G. Consideration on the maximum allowable dosage of active substance produced by ballast wter management system using electrolysis. *J. e-Navi. Marit. Econ.* 2016, 4, 88–96.
- [27] Halevy, I.; Bachan, A. The geologic history of seawater pH. *Science* 2017, 355, 1069–1071.
- [28] Cha, H.G.; Seo, M.H.; Lee, H.Y.; Lee, J.Y.; Lee, D.S.; Shin, K.; Choi, K.Y. Enhancing the efficacy of electrolytic chlorination for ballast water treatment by adding carbon dioxide. *Mar. Pollut. Bull.* 2015, 95, 315–323.
- [29] Jeong, J.; Kim, C.; Yoon, J. The effect of electrode material on the generation of oxidants and microbial inactivation in the electrochemical disinfection processes. *Water Res.* 2009, 43, 895–901.
- [30] Lacasa, E.; Tsolaki, E.; Sbokou, Z.; Rodrigo, M.A.; Mantzavinos, D.; Diamadopoulou, E. Electrochemical disinfection of simulated ballast water on conductive diamond electrodes. *Chem. Eng. J.* 2013, 223, 516–523.
- [31] Song, Y.; Dang, K.; Chi, H.; Guan, D. Corrosion of marine carbon steel by electrochemically treated ballast water. *J. Mar. Eng. Technol.* 2009, 8, 49–55.
- [32] USCG - United States Coast Guard. Ballast Water Treatment Corrosion Scoping Study, 2011. <http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA613422>. Acessado em: 15 Agosto 2016.
- [33] Baere, K.D.; Verstraelen, H.; Rigo, P.; Passel, S.V.; Lenaerts, S.; Potters, G. Study on alternative approaches to corrosion protection of ballast tanks using an economic model. *Mar. Struct.* 2013, 32, 1–17.
- [34] Werschkun, B.; Banerji, S.; Basurko, O.C.; David, M.; Fuhr, F.; Gollasch, S.; Grummt, T.; Haarich, M.; Jha, A.N.; Kacan, S.; Kehrer, A.; Linders, J.; Mesbahi, E.; Pughic, D.; Richardson, S.D.; Schulz, B.S.; Shah, A.; Theobald, N.; Gunten, U.V.; Wieck, S.; Hofer, T. Emerging risks from ballast water treatment: the run-up to the international ballast water management convention. *Chemosphere* 2014, 112, 256–266.
- [35] Culin, J.; Mustac, B. Environmental risks associated with ballast water management systems that create disinfection by-products (DBPs). *Ocean. Coast. Manage.* 2015, 105, 100–105.

- [36] Liebich, V.; Stehouwer, P.; Veldhuis, M. Re-growth of potential invasive phytoplankton following UV-based ballast water treatment. *Aquat. Invasions* 2012, 7, 29–36.
- [37] First, M.R.; Drake, L. A. Approaches for determining the effects of UV radiation on microorganisms in ballast water. *Management of Biological Invasions* 2013, 4, 87–99.
- [38] First, M.R.; Drake, L. A. Life after treatment: detecting living microorganisms following exposition to UV light and chlorine dioxide. *J. Appl. Phycol.* 2014, 26, 227–235.
- [39] Ellegaard, M.; Lenau, T.; Lundholm, N.; Maibohm, C.; Friis, S.M.M.; Rottwitt, K.; Su, Y. The fascinating diatom frustule—Can it play a role for attenuation of UV radiation? *J. Appl. Phycol.* 2016, 28, 3295–3306. doi:10.1007/s10811-016-0893-5.
- [40] Grob, C.; Pollet, B.G. Regrowth in ship's ballast water tanks: think again! *Mar. Pollut. Bull.* 2016, 109, 46–48.
- [41] Martinez, L.R.; Andres, J.M.; Merino, A.A.; Nebot, E. Evaluation of ultraviolet disinfection of microalgae by growth modeling: Application to ballast water treatment. *J. Appl. Phycol.* 2016, 28, 2831–2842. doi:10.1007/s10811-016-0838-z.
- [42] Lloyd's Register Group. Available Ballast Water Treatment Systems. Disponível em: <http://www.lr.org/en/services/environment-and-sustainability/ballastwatermanagement.aspx>. Acessado em: 28 June 2016.
- [43] Batista, W.; Fernandes, F.; Lopes, C.; Lopes, R.; Miller, W.; Ruiz, G. Which Ballast Water Management System Will You Put Aboard? Remnant Anxieties: A Mini-Review. *Environments* 2017, 4, 54. doi:10.3390/environments4030054.
- [44] Galindo, C.L.; Garrido, M.C.; Casanueva, J.F.; Nebot, H. Degradation models and ecotoxicity in marine waters of two antifouling compounds: Sodium hypochlorite and an alkylamine surfactant. *Sci. Total Environ.* 2010, 408, 1779–1785.
- [45] Gregg, M.D.; Hallegraeff, G.M. Efficacy of three commercially available ballast water biocides against vegetative microalgae, dinoflagellate cysts and bacteria. *Harmful Algae* 2007, 6, 567–584.
- [46] Wright, D.A.; Dawson, R.; Orano-Dwason, C.E. Shipboards trials of menadione as a ballast water treatment. *Mar. Technol.* 2007, 44, 68–76.
- [47] Wright, D. A.; Dawson, R.; Caceres, V.; Orano-Dawson, C. E.; Kananen, G. E.; Cutler, S. J.; Cutler, H. G. Shipboard testing of the efficacy of SeaKleen® as a ballast water treatment to eliminate non-indigenous species aboard a working tanker in Pacific waters. *Environ. Technol.* 2009, 30, 893–910, doi:10.1080/09593330902929889.
- [48] Carbona, S.L.; Frosen, S.V.; Masson, D.; Sassi, J.; Pineau, S.; Lehtiniemi, M.; Corroler, D. Efficacy and environmental acceptability of two ballast water treatment chemicals and an alkylamine based-biocide. *Sci. Total Environ.* 2010, 409, 247–255.
- [49] Qu, Q.; Jiang, S.; Li, L.; Bai, W.; Zhou, J. Corrosion behavior of cold rolled steel in peracetic acid solutions. *Corros. Sci.* 2008, 50, 35–40.
- [50] Li, L.; Qu, Q.; Bai, W.; Chen, Y.; Zhang, S.; Gao, G.; Ding, Z. Effect of NaCl on the corrosion of cold rolled steel in peracetic acid solution. *Int. J. Electrochem. Sci.* 2012, 7, 3773–3786.
- [51] Pohanish, R.P. *HazMat Data: For First Response, Transportation, Storage, and Security*, 2nd ed.; John Wiley and Sons: Hoboken, NJ, USA, 2004; p. 1263.