

3

CAPÍTULO

ALTERNATIVAS DE TRATAMENTOS PARA ÁGUA DE LASTRO A BORDO DOS NAVIOS

NEWTON NARCISO PEREIRA, HERNANI LUIZ BRINATI

3.1 NECESSIDADE DE TRATAMENTO

Demoraram mais de 12 anos para que a Convenção Internacional sobre Controle e Gestão da Água de Lastro e Sedimentos de Navios (BWMC) entrasse em vigor. Em 8 de setembro de 2016, cerca de 45 países representando 35,76% de toda tonelagem bruta mundial ratificaram a BWMC. Mesmo diante de toda a problemática associada ao impacto da água de lastro de navios observa-se que a indústria marítima internacional, bem como, a Organização Marítima Internacional – IMO não tinham conseguido convencer grande parte dos países sobre os problemas oriundos da água de lastro, mesmo sabendo que a BWMC entraria em vigor em 7 de setembro de 2017.

É notório que muitas espécies contidas nos tanques de lastro podem ser potencialmente invasoras. O tratamento da água de lastro para livrá-la de uma potencial espécie invasora constitui um grande desafio que ainda precisa ser devidamente equacionado. Um único tratamento preventivo pode não ser eficaz. Por isso, em muitos casos, pode ser necessário o uso conjunto de dois ou mais tipos de tratamento para tentar aniquilar o maior número de organismos de uma só vez.

A dificuldade de conjugar a eliminação dos organismos com um tratamento totalmente efetivo recomendado pela IMO, abre uma grande fronteira para pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos. Contudo, recomenda-se aos armadores e comandantes das embarcações utilizar os procedimentos operacionais recomendados pela IMO para remediar o problema. Para isso, é necessário conseguir o comprometimento da tripulação para execução de tais procedimentos, que é outro desafio a ser solucionado.

Basicamente, um sistema de tratamento deve ser capaz de erradicar uma ampla variedade de organismos presentes na água de lastro e a sua operação não deve alterar a qualidade da água recebida e descartada. Testes dessas tecnologias devem ser conduzidos para avaliar seu impacto sobre o meio ambiente. Por isso, o desenvolvimento e a obtenção da aprovação de sistemas de tratamento requerem uma série de testes. O desempenho desse sistema depende das variedades de navios existentes, rotas, condições climáticas, posição geográfica e legislação internacional e local; tudo isto toma muito tempo. Duas linhas de tratamento estão atualmente sendo discutidas em âmbito internacional: tratamento a bordo e tratamento executado em unidades em terra (no porto¹) (IMO, 2004).

O tratamento a bordo contempla as operações de troca e tratamento da água que podem ser empregadas na embarcação. Este tipo de tratamento pode ocorrer durante as operações do navio no mar. Assim, o navio pode tratar e descarregar a água de lastro em trânsito e não necessita aguardar a chegada ao porto para fazê-lo, como no caso do uso de uma unidade em terra. O tratamento em unidades na costa deve ser executado assim que o navio atraca no berço. Para tal, são conectados dutos aos tanques de lastro que retiram a água e armazenam em reservatórios para depois ser aplicado o tratamento. Este assunto será abordado no próximo capítulo.

Os navios podem viajar grandes distâncias entre portos ou visitar muitos portos durante todo o curso de uma viagem. Limitações substanciais de espaço em navios, junto com as preocupações de segurança para a embarcação e sua tripulação, tornam as opções de tratamento a bordo complexas. Ter espaço a bordo, principalmente na praça de máquinas, oferece uma vantagem para instalação de sistemas de tratamento.

¹ O tratamento da água de lastro no porto não é mandatário segundo a Convenção Internacional para o Controle e Gerenciamento de Água de Lastro de Navios e Sedimentos, mas os portos podem avaliar sua viabilidade e uso (Gollasch *et al.* 2007).

Contudo, a maior parte dos navios dispõe de espaços confinados e limitados que não proporcionam flexibilidade para instalação de sistemas que não foram previstos no projeto original. Além disso, o problema da idade da frota pode afetar diretamente o desenvolvimento das alternativas de tratamento. Por dois motivos principais: (1) característica do navio que talvez precise de grandes modificações na condição original; (2) o custo destas alternativas que pode ser um fator impeditivo para que os armadores optem em instalar em seus navios. Isso se deve, principalmente, pela relação custo de investimentos versus custo do m³ tratado. Ou seja, quanto maior for a idade do navio maior será o custo do tratamento, pois existe o problema do retorno do investimento realizado sobre o tempo de uso do sistema de tratamento.

Outro aspecto importante, segundo o NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996) é que a qualidade da água de navegação em lagos e rios contém grandes quantidades de minerais, mas baixas concentrações do íon cloreto. O pH e a salinidade da água do mar são mantidas relativamente constantes por um equilíbrio complexo de elementos químicos naturais.

A mistura da água do oceano e de água fresca nos estuários, baías de maré baixa e os braços de mar, onde as principais facilidades portuárias são encontradas, tende a criar uma zona rica em nutrientes e vida marinha propícia aos organismos exógenos. Uma curta lista de parâmetros da qualidade da água que devem ser mensurados para avaliar a eficácia dos sistemas de tratamento de água de lastro considera a temperatura, salinidade, pH, oxigênio dissolvido, sólidos suspensos e componentes biológicos da água do mar captada (MESBAHI, 2004; KAZUMI, 2007). Como a variabilidade destes parâmetros é ampla, ainda há sérias restrições conceituais para se definir os padrões-chave de qualidade da água de lastro eficazes para definir métodos genéricos de tratamento, o que requer estudo e validação.

Os tanques de lastro e os tanques de carga/lastro representam um desafio original para tratar a água, devido às elevadas taxas de fluxo, grandes volumes, diversidade de organismos e tempo de residência da água de lastro.

A maior parte da água de lastro é coletada nas áreas litorâneas e estuarinas que tendem a conter altos níveis de sólidos em suspensão. Em consequência, a água de lastro com concentrações elevadas de material suspenso é, frequentemente, bombeada para o interior do navio. O sedimento se acumula nos tanques de lastro em grandes quantidades (centenas de metros cúbicos) e possui um custo alto de remoção e transporte. O sedimento suspenso também interfere na maioria dos sistemas de tratamento, se eles forem processos físicos de separação ou processos avançados de oxidação (MESBAHI, 2004).

No primeiro caso, o sedimento suspenso tende a obstruir rapidamente os sistemas de rede de captação e os scallops dos tanques de água de lastro, por onde a água passa pelas anteparas dos tanques (PRANGE e PEREIRA, 2013). No segundo caso, o material suspenso pode proteger as espécies alvo de algum processo de tratamento, uma vez que aumenta a turbidez da água (TSOLAKI & DIAMADOPOULOS, 2010). Assim, a eficácia do tratamento definido nos termos de inativação do organismo alvo pode ser limitada severamente pela presença de sólidos suspensos. Isso mostra que, com a tecnologia atualmente disponível, um cenário de tratamento a bordo não será eficaz para todas as embarcações que carregam água de lastro entre várias regiões do mundo.

Devido às dificuldades de encontrar soluções aplicáveis para todos os navios em operação é que o desenvolvimento de um processo de tratamento de água de lastro deve contemplar os passos mostrados na Figura 9. Cada etapa deste processo deve ser minuciosamente avaliada para garantia da eficácia do tratamento.



Figura 9 Processo de coleta e tratamento da água de lastro

Fonte: Adaptado de Brown e Caldwell (2007)

A tarefa mais complicada de ser executada após a implantação de um sistema de tratamento é garantir sua eficácia. O sistema de tratamento, que precisa ser monitorado em todas suas etapas, deve atender aos seguintes requisitos:

1. Ser seguro (para o navio e sua tripulação);
2. Ser ambientalmente aceitável (não pode causar outros impactos ambientais);
3. Ser exequível (compatível com o projeto do navio e sua forma de operação);
4. ser biologicamente efetivo (em termos de remoção e destruição dos elementos contidos);
5. ser economicamente viável (possível de ser construído em escala comercial).

Atendidos estes requisitos, para que um sistema de tratamento seja incorporado pela comunidade marítima internacional, primeiramente ele deve ser homologado pela IMO. Assim, existem alguns passos que devem ser seguidos para obtenção da aprovação conforme mostra a Figura 10.



Figura 10 Procedimento para aprovação de sistema de tratamento de água de lastro

Fonte: Figura adaptada de Dobroski *et al.* (2007)

Como o processo de aprovação de qualquer sistema de tratamento a ser instalado a bordo dos navios demora muito tempo e o problema da bioinvasão precisa ser remediado, prioritariamente, sugere-se que os navios cumpram os procedimentos operacionais definidos pela IMO. Em conjunto com os procedimentos operacionais deve-se buscar alguma tecnologia de tratamento disponível, tanto a bordo quanto em terra, para inibir a contaminação pela água de lastro.

Em 2013, visitamos o Prof. Mario Tamburri da Universidade de Baltimore nos Estados Unidos que desenvolveu um sistema de testes de sistema de tratamento a bordo de água de lastro dos navios. Basicamente, foi desenvolvida uma barcaça adaptada com diversos sistemas de captação de água, armazenamento, tubulações diversas e laboratório de testes para avaliar a eficiência de sistema de tratamento de água de lastro. A vantagem de se utilizar uma barcaça deve-se ao fato de poder navegar e poder coletar água em outros pontos da baía de Chesapeake para avaliar os equipamentos. Durante nossa estada pudemos acompanhar os testes de sistema de filtros aplicados a esses sistemas. Os testes em terra duram em torno de 10 dias para avaliar a eficiência do sistema. Após isso, é fornecido um relatório detalhado com os resultados da eficiência do sistema, conforme mostrado na Figura 11.



Figura 11 Barcaça de testes em terra e ou móvel instalada em Baltimore (Estados Unidos)²

Neste mesmo período, nós visitamos o Northeast-Midwest Institute em Washington. Fomos recebidos pela bióloga Allegra Cangelosi que nos apresentou a proposta do instituto. Basicamente, eles têm uma estação de testes de sistemas de água de lastro localizada em Duluth-Superior Harbor. Nesta estação são realizados testes com os sistemas de tratamento de água de lastro, em que são identificadas suas eficiências. Basicamente, o procedimento é similar ao realizado em Baltimore. Existem atualmente, no mundo além dessas duas estações de testes, mais três localizadas na Holanda, sendo a Royal NIOZ, Instituto Nacional Oceanográfico e MEA-nl B.V. Por meio dessas estações os sistemas são testados e os fabricantes podem solicitar sua homologação junto a IMO.³

² A estação de teste da MERC paralisou suas atividades de testes de BWMS em dezembro de 2017, devido a incertezas sobre a qualidade e valores realizados nos testes para certificação de BMWS. Isso foi devido ao fato dos testes ignorarem a presença de larvas vivas de mexilhões Zebra e outros moluscos, ovos e várias outras espécies, além de células de algas que frequentemente não podem mover-se por si mesmas e, de acordo com os regulamentos atuais, podiam ser presumidas como mortas. Entretanto, existem métodos científicos que podem comprovar que os organismos imóveis podem estar vivos e viáveis dentro dos tanques, sendo portanto uma ameaça a novas introduções mesmo utilizando BWMS certificados. Diante destas evidências as atividades de certificação foram suspensas, segundo as informações prestadas pelo diretor Mario Tamburri.

³ Outra estação de testes de BWMS foi fechada em Cingapura em janeiro de 2018. A DHI anunciou o fechamento das atividades, devido a dificuldades em testar os equipamentos nas águas tropicais, representadas pelo ambiente marinho de Cingapura. Isso deve-se à quantidade de

Cabe salientar que não existe nenhuma infraestrutura semelhante para analisar o funcionamento destes sistemas de tratamento de água de lastro onboard na América do Central e Sul. Deste modo, os sistemas serão sempre testados nas condições em que poderão eliminar os organismos existentes onde estas estações estão instaladas, mas nunca saberemos se são eficientes para eliminar os organismos que vivem nas águas brasileiras.

3.2 TRATAMENTO POR SUBSTITUIÇÃO DA ÁGUA

A IMO por meio da BWMC recomendou alguns procedimentos operacionais que os comandantes devem aplicar durante a viagem, enquanto não surge uma técnica eficaz para resolver o problema da bioinvasão. Basicamente, as normas exigem que seja feita a substituição oceânica da água de lastro.

A troca oceânica consiste no procedimento de troca de toda a água contida nos tanques de lastro do navio, entre o local de captação e um ponto situado a, no mínimo, 200 milhas (370,4 Km) da costa onde se localizam os portos em que o navio irá descarregar a água de lastro. O princípio preventivo deste procedimento se fundamenta no fato de que as espécies oceânicas não sobrevivem em ambientes de regiões costeiras e vice-versa. Basicamente, considera-se que os organismos oriundos de portos tropicais não devem sobreviver e nem se reproduzir em águas geladas, temperadas e polares, devido à diferença de similaridade ambiental. Contudo, isso não é uma regra e ocorre que algumas espécies de invertebrados e algas oriundos de regiões tropicais já foram encontradas em regiões polares (SILVA *et al.*, 2004).

Assim, os procedimentos estabelecidos para serem aplicados em âmbito global são (BWMC, 2004):

- Como regra geral, as embarcações deverão realizar a troca da água de lastro em alto mar a, pelo menos, 200 milhas náuticas da costa e em águas com, pelo menos, 200 metros de profundidade;
- Nos casos em que o navio não puder realizar a troca da água de lastro em conformidade com o parágrafo acima, a troca deverá ser realizada o mais distante possível da costa e em todos os casos a pelo menos 50 milhas náuticas e em águas com pelo menos 200 metros de profundidade ou em zonas determinadas pelo Agente do Estado Porto. Neste caso, informações ambientais e sanitárias existentes subsidiarão o Agente da Autoridade;

organismos presentes na água, menor que 10 microns, bem como à temperatura local que impacta na sobrevivência dos organismos nos tanques de controle.

- Será aceita a troca de água de lastro por qualquer dos métodos aprovados pela IMO: sequencial, fluxo contínuo e diluição, que serão descritos adiante;

Contudo, a BWMC deixou em aberto o caso dos navios de cabotagem, que navegam ao longo da costa e que podem transportar espécies exóticas de diferentes ambientes, como é o caso dos portos de baixa salinidade. Por esta razão, a NORMAM 20/DCP data de 2005 tinha recomendado sua realização, a pelo menos, 50 milhas náuticas e em águas com profundidade mínima de 200 metros. Contudo, a eficiência desse processo demanda fiscalização dos navios que navegam em águas costeiras brasileiras.

Além disso, era recomendado que, no caso da Amazônia, a água de lastro dos navios fosse duplamente trocada. A primeira troca (50 milhas da costa) é para prevenir os impactos ambientais pela bioinvasão e a segunda, mais próxima da foz do rio Amazonas, é para prevenir os impactos ambientais em função do deslastramento de água salgada num ambiente de água doce, como o caso do Rio Amazonas.

A importância desta medida adotada pela marinha brasileira referia-se à “similaridade” ambiental entre os portos brasileiros. Medeiros (2004) e Leal Neto (2007) mostraram que os portos brasileiros apresentam alto grau de similaridade, ou seja, os parâmetros físicos e químicos da água são muito similares, entre vários portos brasileiros, o que pode propiciar a bioinvasão entre portos da mesma área de influência, considerando principalmente a temperatura e a salinidade.

No entanto, em janeiro de 2014, a nova versão da NORMAM 20, retirou a obrigatoriedade dos navios realizarem troca da água de lastro na navegação de cabotagem, além de retirar a necessidade da segunda troca da água de lastro para acessar a região amazônica. Adicionalmente, os navios agora podem entregar os formulários de água de lastro em até 2 horas após sua atracação. A questão principal é que essas mudanças na legislação brasileira enfraquecem o processo de controle e gestão da água de lastro. Deste modo, fica uma pergunta simples, a partir do momento que o navio atracou num determinado porto e enviar seu formulário de água de lastro para autoridade responsável e seja identificado algum problema de preenchimento e validade nas informações, o mesmo será obrigado a deixar o porto? Dependendo do volume de água de lastro a bordo, bem como, da vazão das bombas em 2 horas, muita água já foi despejada pelo navio no porto brasileiro.

Infelizmente, essas mudanças nos colocam na contra mão da gestão e controle de água lastro, visto que países como Austrália e nova Zelândia exigem que os navios enviem seus formulários com cerca de 48 horas de antecedência de sua chegada no porto. Nos portos americanos os navios devem enviar os formulários

com pelo menos 24 horas de antecedência de sua chegada. Além disso, nos Estados Unidos 100% dos navios que acessam a região dos Grandes Lagos são vistoriados para identificar a salinidade da água de lastro.

3.2.1 Troca Oceânica

A troca oceânica consiste da substituição da água de lastro captada pelo navio na região portuária pela água do oceano. O método mais simples de troca oceânica é o sequencial, pois na prática os tanques são esvaziados sequencialmente, normalmente aos pares, para evitar problemas de estabilidade do navio. Geralmente, durante o processo consegue-se trocar aproximadamente 95% da água contida nos tanques de lastro dos navios (SILVA *et al.*, 2004).

Ainda no intuito de zelar pela vida da tripulação e pelo navio, a IMO recomenda que, em condições adversas de clima, a troca oceânica seja suspensa até que existam condições favoráveis para realizar o procedimento. Contudo, cabe frisar que as normas não descartam a realização do procedimento nestes casos.

Neste sentido, cada país pode determinar qual é o nível mínimo de exigência para a eficiência do processo. Por exemplo, para navios que utilizam este procedimento na Austrália, exige-se que eles cumpram os seguintes critérios (AUSTRALIAN BALLAST WATER MANAGEMENT REQUIREMENTS – ABWMR, 2008):

- Navios com peak tanque de vante com capacidade de 2.000 m³ devem chegar ao porto com somente 1.000 m³ de água. Quando a água contida no tanque for originária de países de alto risco, por exemplo, a China⁴, deve-se restringir a manter apenas 5% do volume do tanque com água trocada, devido ao risco de contaminação da água trocada.
- Para os outros tanques do navio a troca deve ser realizada considerando 95% do volume total do tanque.
- Navios que tenham tanques com capacidade de até 6.000 m³ devem entrar no porto com apenas 2.000 m³ de água nos tanques. Para garantir eficácia no processo, sugere-se que o navio descarregue água até 250 m³ e depois preencha o tanque com 5.000 m³ e depois esvazie novamente até 2.000 m³, ou esvazie o tanque até 100 m³ e depois preencher até 2.000 m³.

⁴ A China é considerada um país de risco para Austrália devido ao elevado número de espécies estabelecidas em várias localidades serem oriundas desse país. Durante a participação do autor junto ao Congresso Internacional de Água de Lastro realizado em Cingapura em 2008, ficou muito claro a preocupação dos diversos países em relação a qualidade da água recebida oriunda dos portos chineses.

- O cálculo da eficácia da troca sequencial, ou seja, do potencial de troca da água de lastro dentro dos tanques é calculada por:

$$TS = \left(\frac{P \times T}{V} \right) \times 100 \quad 3.1$$

em que:

- TS é a eficácia da troca sequencial (%);
- P é a capacidade da bomba (m³/h);
- T é o tempo de operação da bomba (h);
- V é o volume de água de lastro existente no tanque.

Neste caso, para que a troca sequencial seja eficiente é necessário que TS seja maior ou igual a 95%. Isso se deve ao fato do volume residual de água e sedimento que sobram dentro do tanque ter potencial de contaminação. Contudo, estudos sugerem que os valores mais realistas de eficiência estejam na ordem de 70% a 90% (DAMES *et al.*, 1999).

3.2.2 Método do fluxo contínuo

O método do fluxo contínuo consiste em trocar a água de deslastro sem esvaziar os tanques, enchendo-os ao mesmo tempo com a água do mar captada no oceano numa quantidade três vezes maior que o volume do tanque (TSOLAKI & DIAMADOPOULOS, 2010).

Assim, no mínimo 300% (da capacidade máxima dos tanques) de água limpa de áreas oceânicas profundas devem ser bombeadas para dentro de cada tanque de lastro até atingir o nível mínimo de 95% de troca volumétrica. O controle do processo é feito pela tripulação que deve monitorar o volume introduzido nos tanques, através da razão volume do tanque pela capacidade da bomba. Entretanto, esta não é uma tarefa trivial. Mesmo que, ao iniciar a operação de escoamento dos tanques, um tanque esteja parcialmente cheio de água de lastro de alto risco, este deve ser bombeado a 300% de sua capacidade máxima. A vazão de 300% começa a ser medida quando a água limpa de áreas oceânicas profundas começa a entrar no tanque e não quando o tanque começa a derramar. Pode-se determinar o tempo necessário (E) para que as bombas cheguem a 300% da troca de água de lastro pela expressão:

$$E = \left(\frac{V_T \times 3}{P} \right) \quad 3.2$$

onde:

- E é tempo necessário troca da água de lastro;

- V_t é o volume total do tanque de lastro (m^3);
- P é a capacidade da bomba (m^3/h).

De acordo com Silva *et al.* (2004) este método é mais eficaz que o método da troca sequencial, já que o navio não fica exposto aos riscos de segurança, pois são mantidas constantes a saída e a entrada de água. Entretanto, Arai *et al.*, (2002 e 2004) *apud* ITCC (2004) e Nakamura (2001) explicam que através de um método numérico de simulação foi possível constatar que os aspectos de segurança como esforços longitudinais, estabilidade, imersão do hélice e visibilidade da ponte não podem ser alcançados simultaneamente quando o navio realiza este procedimento de troca contínua. Outra questão importante refere-se aos esforços no fundo do casco durante a execução da troca através do método de fluxo contínuo, que poderia comprometer seriamente a estrutura do navio, uma vez que os navios construídos antes de 2009, não foram projetos para operar nessas condições. Em função das imposições de troca de água de lastro pela IMO é possível que os novos navios já sejam projetados para resistir a tais esforços. Contudo, isso também impacta no custo final de construção devido à necessidade de aumentar a resistência estrutural.

Ainda nesta linha, Shinoda (2003) examinou por meio de um modelo de simulação, a taxa de troca de água durante o método de fluxo contínuo. De acordo com resultados do modelo, existem indicativos de uma forte influência no arranjo dos dutos e das válvulas para atingir um volume de troca de 95% da água de lastro contida no tanque. Isso sugere que, mesmo aplicando este método, se a eficiência reduzir de 95% para 90%, o procedimento fica seriamente comprometido e aumentam-se os riscos para o ambiente.

Para atingir este nível de eficiência (95%), a AUSTRALIAN BALLAST WATER MANAGEMENT REQUIREMENTS – ABWMR(2008) estabelece que os navios que adotam este método de tratamento deverão:

- realizar a troca apenas em pares de tanques simultaneamente;
- considerar que o tempo de bombeamento para realização das 3 trocas consecutivas deve ser calculado admitindo que a capacidade de bombeamento permita que o navio chegue à costa com toda água trocada. Além disso, deve considerar a eficiência do equipamento de bombeamento em função de sua idade.

Admite-se, que a maquinaria de lastro de um navio tenha uma perda de 20% de sua capacidade inicial depois de dez anos de uso. Se um navio tinha capacidade de 2500 m^3/h quando as bombas foram instaladas, após dez anos sua capacidade será reduzida para 2000 m^3/h (ABWMR, 2008).

A título de ilustração, considere-se um “Capesize” com 150.000 DWT, com nove tanques de carga e com diversos tanques de lastro, conforme mostrado na Figura 12.

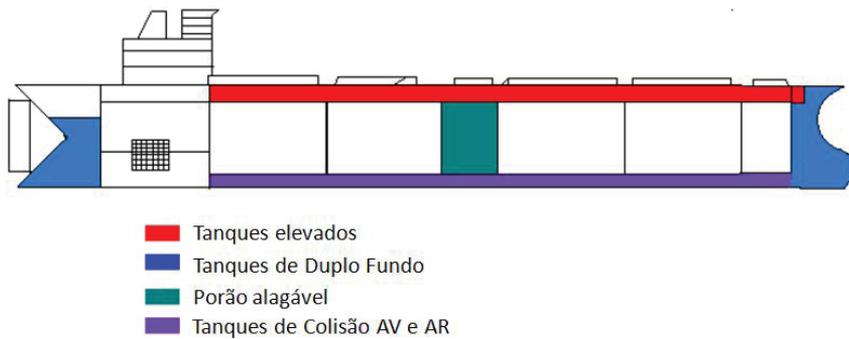


Figura 12 Esquema do arranjo de tanques de navio graneleiro

Fonte: Medeiros (2004)

Considerando a operação com apenas uma bomba, o tempo total de troca do lastro do navio seria de 71 horas, mas admitindo uma operação simultânea com duas bombas e dois tanques, conforme preconizado pela ABWMR, o tempo total de operação é de 35,50 horas. Isto sugere que navios que realizam viagens curtas podem não conseguir realizar este procedimento em uma única viagem. Contudo, mesmo o navio cumprindo esse procedimento não há garantia da qualidade da água de lastro despejada no porto.

Neste contexto, uma alternativa pode ser a utilização de um equipamento portátil denominado FlowCam, fabricado pela Fluid Imaging Technologies, capaz de realizar a identificação das espécies contidas na água de lastro, em poucos segundos através de uma pequena amostra, conforme mostrado na Figura 13.

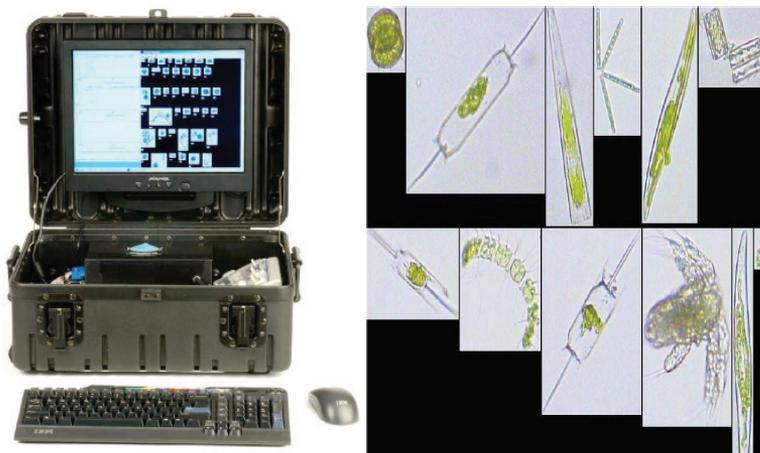


Figura 13 Sistema FlowCam

Fonte: [HTTP://www.fluidimaging.com](http://www.fluidimaging.com)

Nós tivemos contato com o equipamento durante o ICBWM 2008, em que foram realizadas demonstrações de uso do equipamento. Através da colocação de uma pequena quantidade de água em sua lente, foi possível mapear as espécies e identificá-las através do banco de dados no computador. Cabe salientar que o banco de dados do equipamento precisa ser alimentado com os dados coletados e as espécies identificadas. A utilização deste equipamento exige um especialista, pois somente um taxonomista hábil pode determinar a existência de uma nova espécie desconhecida.

Outro instrumento utilizado na sondagem dos tanques de lastro do navio é o refratômetro. Este é um equipamento facilmente manuseado e de baixo custo que serve para monitorar a salinidade da água.

3.2.3 Método do transbordamento

O método do transbordamento dos tanques realiza-se pela descarga da água pela parte superior do tanque “convés”. O método busca garantir a estabilidade do navio, mas não garante a eliminação de todas as espécies e organismos, além de apresentar os mesmos riscos que o método sequencial. A Figura 14 apresenta como o procedimento ocorre.



Figura 14 Método transbordamento

Fonte: Anvisa (2003)

A eficiência do método está baseada no número de trocas da água de lastro em função do tempo de viagem do navio e da capacidade das bombas. Utilizando o exemplo citado para o navio tipo “CAPESIZE” com 150.000 DWT, cujo tempo necessário para realizar a troca é de 35,50 horas, o risco potencial da água de lastro coletada no porto de origem diminui ao longo da viagem, conforme mostrado na Figura 15 para o método em questão. Esta figura foi construída após uma análise de diversos autores que tratam da eficiência deste procedimento.

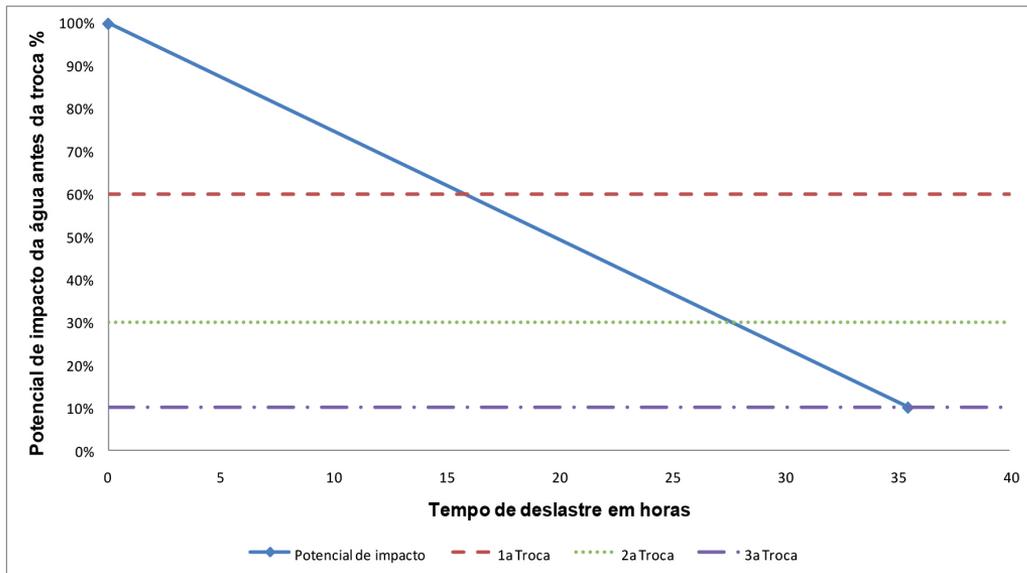


Figura 15 Eficiência do método em função do tempo e do número de trocas de água de lastro

Ainda neste contexto, Kamada *et al.* (2004) apresentaram um estudo mostrando os resultados do número de trocas sucessivas para garantir eficiência de 95%, bem como o potencial de mistura da água de lastro dentro do tanque através de um modelo em *Moving Particle Semi-implicit – MPS*.

Ruiz *et al.* (2001) conduziram diversos testes a bordo de dois navios petroleiros para medir a eficiência dos métodos da troca sequencial e do transbordamento. A conclusão é que a eficiência dos métodos é da ordem de 90%. Grande parte dos navios graneleiros que operam nos portos brasileiros utilizam esse procedimento para trocar a água de lastro no mar.

Mais recentemente, em 2014, durante a participação dos autores no International Council for the Exploration of the Sea Conseil International pour l'Exploration de la Mer realizado em Palanga na Lituania, pudemos analisar em conjunto com outros pesquisadores de várias partes do mundo, os resultados mais recentes de estudos relacionando a eficiência da troca da água de lastro. Foram discutidos os resultados de vários estudos conduzidos utilizando-se sistemas combinados de tratamento versus a troca da água de lastro. A conclusão é que a eficiência da troca da água de lastro foi da ordem 89% em termos de substituição de organismos com dimensão maiores de 50 μm . Para organismos menores que 50 μm a eficiência foi da ordem de 94,9%, mostrando que a troca da água de lastro ainda é uma das alternativas mais efetivas para o controle da transferência de espécies por meio da água de lastro.

3.2.4 Método da diluição

O método de diluição, concebido pela Petrobras, é definido pelo carregamento de água do mar através do topo do tanque com a descarga simultânea pelo fundo do tanque, à mesma vazão, de tal forma que o nível de água no tanque de lastro seja mantido constante (MAURO *et al.*, 2002). Este método está apresentado na Figura 16. A principal diferença desse método em relação aos anteriores é que a água do mar é inserida pelo convés do navio, enquanto que os outros se utilizam da caixa de mar do navio.

Alguns navios (geralmente petroleiros) possuem bombas extras para água de lastro. Em alguns destes navios a água de lastro pode ser bombeada para dentro do tanque por um lado e bombeada para fora pelo outro lado simultaneamente (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996). A similaridade entre os métodos está no nível de troca exigido, que é de 300%, ou seja, deve-se bombear para cada tanque 300% de sua capacidade máxima.

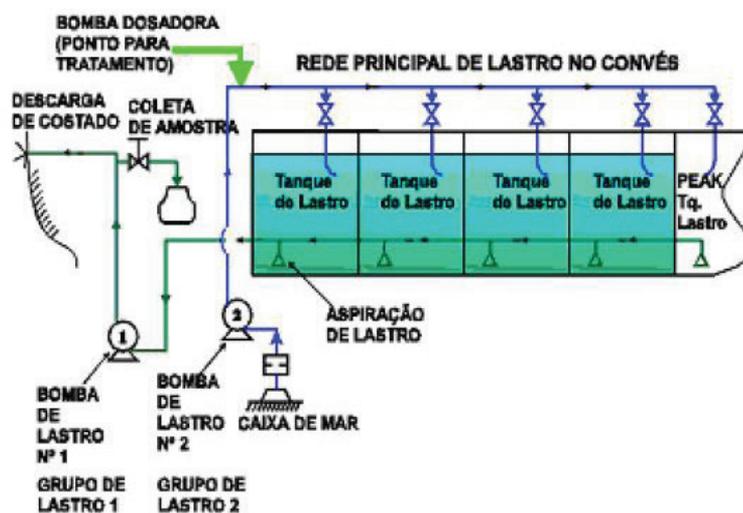


Figura 16 Método da diluição

Fonte: Mauro *et al.* (2002)

Segundo Mauro *et al.*, (2002), as vantagens deste método em relação aos outros apresentados anteriormente referem-se a:

- Uma operação conjunta entre o lastro e o deslastro do tanque;
- Manutenção constante do nível de água do tanque de lastro durante a viagem, o que, de certo modo, evita os problemas de estabilidade e tensões no casco;
- Evita-se o contato direto da tripulação com a água de lastro, pois o sistema é fechado;

- Não interferência sobre o projeto estrutural do navio, exigindo apenas algumas adaptações de máquinas e tubulações.

Em 1998, a Petrobras conduziu testes com o navio NT Lavras e verificou-se que a eficiência do tratamento foi de 90%. Atualmente, os navios da Petrobras utilizam este sistema de tratamento para o transporte da água de lastro.

3.2.5 Outros métodos não homologados pela IMO

Todos os métodos apresentados estão homologados pela IMO, contudo, pesquisas e testes estão sendo realizados para avaliar outras opções para operação dos navios. Essas novas alternativas deverão ser testadas e validadas pela IMO antes de entrarem em operação.

1) Diferença de pressão

Numata *et al.* (2002) propõem um novo método, que se baseia na diferença de pressão do fluido em torno da superfície do casco do navio enquanto se navega a vante, ou seja, por gravidade o fluido contido no interior do tanque é despejado e outro é recolocado no navio enquanto ele dirige-se a vante. Neste caso, não haveria qualquer operação de bombeamento, exceto para manter um nível inicial de água no tanque enquanto o navio estiver parado, conforme mostra a Figura 17. A eficiência do método foi verificada por experimentações em modelos e a potência total necessária foi estimada em 1/5 da necessária para o método de fluxo contínuo.

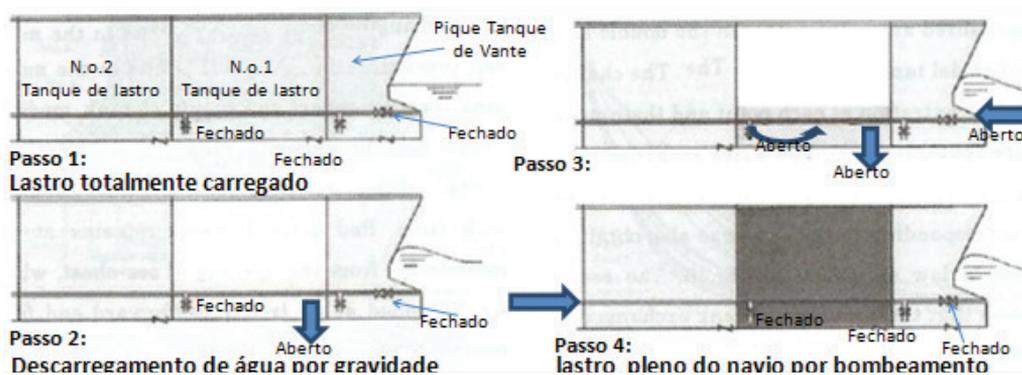


Figura 17 Método por diferença de pressão

Fonte: ITCC (2004)

2) Ballast-Free

Recentemente, o Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Universidade de Michigan desenvolveu um novo conceito de captar água de lastro denominado de Ballast-free “Lastro Livre”. Este método, que se destina, principalmente, a navios que operam nos Grandes Lagos americanos, está esquematizado

na Figura 18. A Figura 19 (A, B e C) mostra os modelos de teste utilizados para validar este sistema (Kotinis e Parsons, 2004).

No conceito Ballast-Free os tanques de lastro tradicionais são substituídos por tanques longitudinais que passam por baixo da região de carga do navio. Os tanques são conectados com o mar através de uma abertura na proa situada na linha centro do navio. Assim, a pressão desenvolvida pelo navio quando navegando para vante é positiva, enquanto que a sucção na popa é negativa. Por meio deste diferencial hidrodinâmico de pressão, um lento fluxo de água é induzido através da proa para os tanques de lastro, sem a necessidade de bombas, sendo despejado através de aberturas na popa do navio (KOTINIS e PARSONS, 2007).

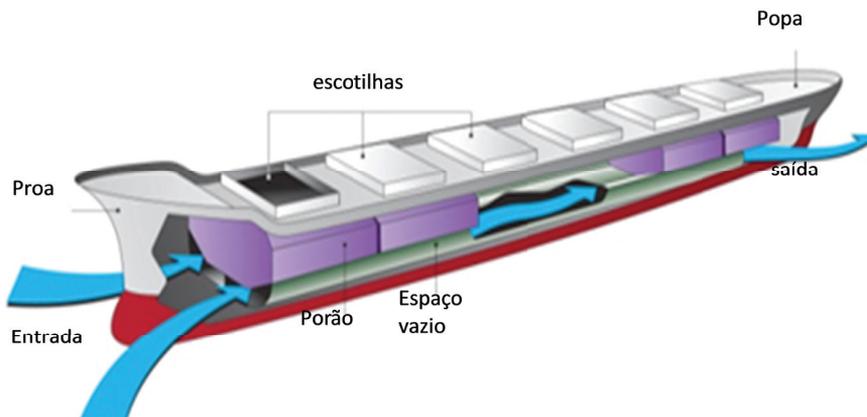


Figura 18 Sistema Ballast-Free – Modelo conceitual de aplicação do método

Fonte: Adaptado de Kotinis e Parsons (2007)

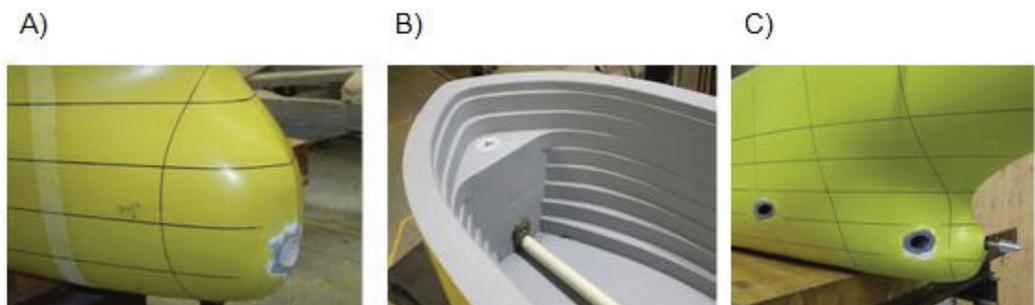


Figura 19 Modelos utilizados na validação do método Ballast-Free durante os ensaios em tanques de prova para medir os coeficientes hidrodinâmicos

Fonte: Kotinis e Parsons (2007)

Enquanto o navio está em condição de lastro e em movimento, os tanques são constantemente inundados com água local. Quando a viagem do navio termina, os tanques de lastro podem ser isolados do mar por um conjunto de válvulas

e o sistema pode ser esvaziado através de um sistema de bombas convencionais. O resultado desta rede é a possível eliminação do transporte de espécies exóticas de um local para outro, pois a água está sendo renovada a todo instante (KOTINIS e PARSONS, 2007).

Contudo, a utilização deste sistema requer modificações no projeto do navio, conforme mostrado na Figura 20. Uma alteração que, segundo os autores, consiste no aumento da altura do costado, para permitir que se acumule o maior volume água nos tanques de lastro abaixo dos tanques de carga.

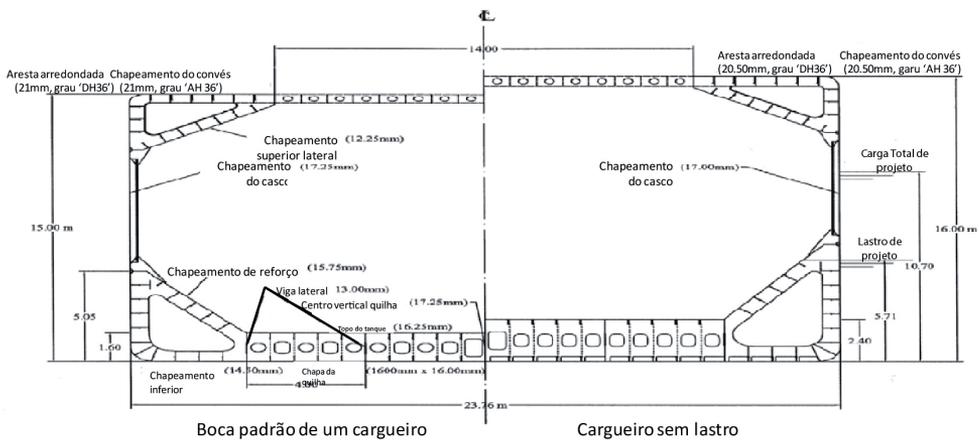


Figura 20 Comparação entre do arranjo de graneleiro convencional com ou adaptado para o sistema Ballast-Free

Fonte: Adaptado de Kotinis e Parsons (2007)

O esquema de funcionamento pode ser visto na Figura 21, que mostra que o sistema, quando necessário, pode ser totalmente isolado através do acionamento de válvulas.

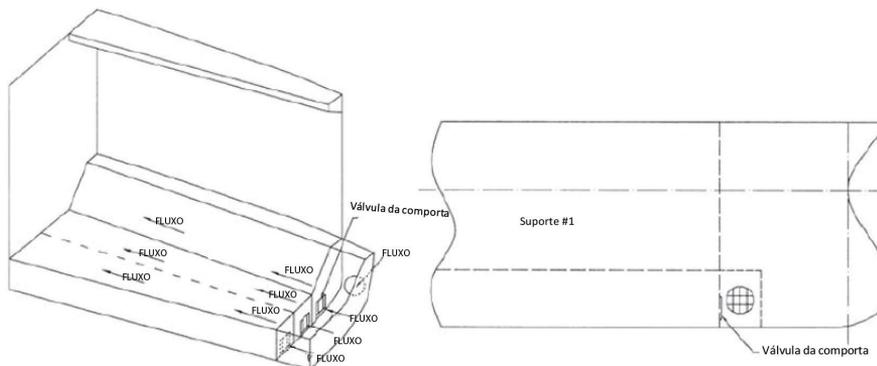


Figura 21 Funcionamento do sistema Ballast-Free

Fonte: Kotinis e Parsons (2007)

Kotinis e Parsons (2007) conduziram estudos em tanque de provas com modelos para avaliar o desempenho e realizaram simulações numéricas usando Computational Fluid Dynamics – CFD, tendo sido testadas várias localizações para aberturas, tanto na popa quanto na proa, bem como analisaram sua influência no comportamento do navio. Além disso, os autores realizaram uma avaliação econômica do sistema para identificar os custos das modificações do casco e seu impacto no custo total do navio.

Os resultados indicaram que as aberturas no casco impuseram pequeno aumento de 3% na resistência ao avanço do navio. Por outro lado, os ajustes na posição da descarga da água a ré favoreceram a eficiência do propulsor na ordem de 7%, em relação ao navio sem aberturas, devido ao melhor direcionamento do fluxo para o propulsor. Em relação aos custos relativos ao navio, a adoção deste sistema tende a reduzir os custos com a instalação de equipamentos de tratamento de água de lastro, considerando que um sistema de tratamento convencional pode custar mais de US\$ 800.000,00. Outra vantagem apresentada é que a tripulação não tem contato com a água poluída que o navio pode transportar, além de dificultar a deposição de sedimentos no tanque de lastro do navio.

Estivemos no Japão, em 2013, para discutir sobre este sistema com o Prof. Makoto Arai da Universidade de Yokohama. Embora, o sistema tenha sido proposto originalmente pelos americanos, são os japoneses que têm realizado avanços nesta linha de pesquisa. Outros modelos de cascos foram testados e novos resultados foram encontrados. Os pesquisadores japoneses descobriram ainda que a forma dos furos no casco tem forte influência no rendimento dos navios. Além disso, existem desafios tecnológicos para este tipo de implementação na prática.

A primeira refere-se à confiabilidade no sistema de comportas para abertura e fechamento das mesmas, durante a navegação e as operações de lastro e deslastro dos navios.

A segunda é como deverá ser o sistema de controle para o acionamento e fechamento das comportas durante a operação real no navio. A terceira é que, para que o sistema seja eficiente, é necessário que o navio percorra uma distância grande para que haja tempo suficiente de todo o volume de água existente dentro dos tanques seja completamente trocado. Cabe salientar, que está troca da água deve ocorrer de forma contínua e em volumes relativamente pequenos para não criar efeitos de superfície livre dentro dos tanques, bem como, e evitar potenciais danos à estabilidade do navio. Por fim, os pesquisadores ainda estão buscando fundos para construir uma embarcação de pequeno porte com este sistema com o objetivo de validar o sistema em escala real.⁵

⁵ O navio YARA Birkeland será o primeiro navio autônomo a fazer uso do sistema Ballast Free e deverá ser lançado em 2018 pela empresa YARA. Neste navio não existirá tanques de lastro e BWMS a bordo.

É muito importante salientar que todas as alternativas operacionais mostradas buscam minimizar o risco de invasão por espécies exóticas. Considerando que o risco de uma invasão depende do volume de água despejado em um determinado local, bem como da quantidade de espécies que se transfere no processo, a aplicação efetiva de cada um destes procedimentos pode efetivamente auxiliar no processo de controle.

3.3 OUTRAS CONSIDERAÇÕES

Embora existam os métodos operacionais citados anteriormente, é importante salientar que a eficácia de cada um deles depende exclusivamente do comprometimento da tripulação. Algumas práticas importantes podem auxiliar o processo de controle da bioinvasão enquanto não se encontra uma solução definitiva.

Por exemplo, as embarcações poderiam evitar carregar o lastro dentro dos portos com cargas elevadas de sedimento em suspensão, nas áreas da descarga de água de esgoto, como o porto de Santos, ou em “pontos de risco”; onde se sabe da presença de certos organismos não desejados. Por exemplo, portos do Sul em que o mexilhão dourado faz-se presente. Aliado a isso, um plano para o manuseio da água de lastro, desenvolvido conjuntamente com o plano de carga do navio, ajudaria o comandante a ajustar as necessidades de carregamento e descarga do lastro nestas localidades garantindo a segurança no navio.

O NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996) sugere que os comandantes das embarcações façam algumas análises da condição do local onde estão operando antes de executar a operação de lastro, para três condições: antes e durante a partida, em rota e chegando ao porto de destino. Os autores sugerem uma série de medidas que podem ser utilizadas pelos navios durante as viagens, conforme mostrado a seguir.

1) *Antes e durante a partida*

Como uma primeira linha de defesa para controlar a introdução de espécies aquáticas não nativas através da água de lastro, o comandante da embarcação deve considerar não carregar a água se a embarcação é capaz de funcionar com segurança e eficácia sem ela. Localidades e períodos em que a água de lastro provavelmente contém tais organismos incluem:

- “Pontos de risco” globais; onde se sabe que organismos alvo estão presentes na coluna d’água;
- Portos com carregamento elevado de sedimento;
- Áreas de descarga de água de esgoto ou incidência conhecida de doenças;
- Locais conhecidos que, em certas épocas do ano, apresentam variações sazonais nas populações de organismos;

- À noite, quando alguns organismos planctônicos migram para uma posição mais elevada na coluna d'água.

Apesar das preocupações sobre espécies exóticas, é sabido que os navios precisam coletar água de lastro no porto para preservar a segurança; entretanto, não é preciso despejar a água nesta região, basta realizar a troca no oceano. É importante analisar, caso a caso, as condições de operação de cada navio e adotar um procedimento operacional padrão que contemple ambos os objetivos segurança e impacto ambiental.

2) *Em rota*

Navios que cruzam grandes áreas em mar aberto têm mais e diferentes opções para o controle da água de lastro, do que os navios que cruzam águas costeiras e litorâneas. Sendo assim, em locais profundos em mar aberto, o procedimento de troca de lastro deve ser conduzido. Tanto o comandante, quanto o armador, deve ter em mente que, se a água de lastro pode ser trocada, torna-se desnecessário o tratamento a bordo.

3) *Chegando ao destino*

Uma embarcação pode chegar ao porto pretendendo descarregar o lastro, mas sem executar procedimentos de controle satisfatórios. Deste modo, os comandantes devem cumprir os procedimentos impostos pela IMO. Se tais procedimentos são julgados necessários pelas autoridades competentes locais, devem ser cumpridos para evitar multas e sanções ao navio, ao comandante e ao armador. Além disso, os navios devem conter o plano de gerenciamento da água de lastro com informações precisas do volume de lastro trocado e a posição geográfica em que ocorreu a troca.

Além dos aspectos apresentados é necessário trabalhar na conscientização da tripulação em relação aos problemas associados com a água de lastro. Existem mais de 55.000 navios mercantes no mundo, sendo que uma parcela significativa são navios antigos sem condições de grandes modificações. Deste modo, até o presente momento a forma mais efetiva de controlar o risco de bioinvasão é garantir que os comandantes dos navios realizem a troca da água de lastro.

3.4 PROCESSOS FÍSICO, QUÍMICO E BIOLÓGICO DE TRATAMENTO DA ÁGUA

Estão sendo desenvolvidas muitas técnicas para tratamento da água de lastro a bordo dos navios; algumas se encontram em fase de validação e outras ainda na fase conceitual. As principais tecnologias existentes são: filtração, hidrociclone, aquecimento, choque elétrico, irradiação por raios ultravioleta, aplicação de biocidas e desoxigenação (TSOLAKI e DIAMADOPOULOS, 2010).

Um dos principais fatores a ser considerado na escolha do sistema é o custo de aquisição, bem como de manutenção e operação. Outro aspecto é a heterogeneidade de navios, com diferentes fins, diferentes maquinarias e sistemas elétricos a bordo e idade. Markovina *et al.* (2007) explicam que, por exemplo, navios petroleiros antigos não foram projetados para a instalação de um sistema de tratamento da água de lastro a bordo, devido à escassez de espaço na sala de máquinas, características dos equipamentos empregados na época de construção, além da habilidade e treinamento da tripulação para lidar com as especificidades das tecnologias aplicadas ao tratamento a bordo do navio.

Como as principais resoluções referentes à água de lastro sugeriram a partir dos anos 90, verifica-se que muitos navios que ainda operam não foram projetados contemplando os requisitos instituídos pela IMO e pelas sociedades classificadoras. O primeiro desafio para implementar qualquer alternativa de tratamento a bordo dos navios existentes é monitorar a qualidade da água coletada e, posteriormente, da água tratada e despejada. Para vencer esta barreira na prática fazem-se sondagens no navio para coleta de amostras e determinar o que está presente na água.

A seguir são apresentadas as principais técnicas aplicáveis ao desenvolvimento de sistemas para tratamento da água de lastro a bordo dos navios para realização do Ballast Water Management System (BWMS).

3.4.1 Filtração

Através da filtração, dependendo do tamanho da malha, é possível remover zooplâncton (pequenos animais marinhos) e algas do fitoplâncton com tamanhos maiores; contudo, este sistema não pode reduzir a concentração de muitos micro-organismos menores. IMO (2002) explica que este processo é amplamente utilizado para impedir o acesso aos tanques de organismos maiores, que eventualmente, poderá não ocorrer.

Considerando que o fluxo de água que entra e sai dos tanques é muito grande, os sistemas devem ser adaptados para este tipo de operação. Além disso, existe a questão do custo dos filtros, que está diretamente relacionado com a quantidade de espécies removidas. Os sistemas de filtragem exigem a limpeza periódica, que pode ser manual ou automática. Em geral, este sistema apresenta não mais que 70% de eficiência no tratamento quando utilizado isoladamente (DARDEAU *et al.*, 1995).

Por isso, o processo de filtração tem sido amplamente testado em conjunto com outras alternativas de tratamento. Por exemplo, no porto de Hadera na costa de Israel foi instalada uma unidade piloto em 2001 para tratar água de lastro contemplando dois métodos: filtração e radiação ultravioleta (UV)

(GLOBALLAST, 2004). Os autores, porém, não encontraram resultados dos testes realizados nesta estação durante a investigação.

Saho *et al.* (2004) apresentaram o protótipo de um sistema de tratamento usando supercondução magnética em conjunto com a filtração para limpar a água de lastro de navios. O sistema projetado é capaz de tratar 100 m³ de água por dia. O processo consiste em misturar a água contaminada com imã pulverizado em conjunto com líquido flocoso, agitando a mistura até formar flocos magnéticos. Em seguida, a água é filtrada e a lama residual é armazenada. A conclusão da investigação é que 90% das partículas presentes na água de lastro são retiradas em apenas 5 minutos; contudo novos testes estão sendo conduzidos para avaliar a real eficácia.

3.4.2 Radiação Ultravioleta

A fonte primária de radiação ultravioleta (UV) é o sol, mas também pode ser emitida através de lâmpadas incandescentes e fluorescentes. O processo de tratamento consiste na irradiação de luz ultravioleta na água do mar captada pelo navio. A luz UV induz mudanças fotoquímicas nos organismos que irão quebrar as ligações químicas no DNA. Isto acarreta problemas na sobrevivência dos organismos, ou seja, ocorrem mutações nocivas levando-os à morte (MESBAHI, 2004).

São instalados nos navios tubos de Teflon e lâmpadas ultravioletas são fixadas externamente a estes tubos. As lâmpadas emitem radiação em todas as direções e somente parte desta atinge o fluído que elimina os micro-organismos. Cabe frisar que, em função da radiação não ser unidirecional, ocorre perda de energia, além do próprio tubo absorver uma parcela da radiação reduzindo a eficiência do processo (OLIVEIRA, 2003). Outra questão importante é que quanto maior o diâmetro do tubo, maior o número e a intensidade das lâmpadas para eliminar os micro-organismos presentes na água. Salienta-se que este processo não tem o mesmo resultado para organismos maiores, por isso, em geral, busca-se combiná-lo com a filtração. Outro ponto importante é que sua eficiência se reduz com o aumento da turbidez da água (MESBAHI, 2004).

Este sistema é amplamente utilizado em aplicações de desinfecção. Lâmpadas de baixa pressão de mercúrio têm sido usadas como fonte para radiação de UV. Mesbashi (2004) utilizou este sistema a bordo de dois navios nos EUA e concluiu que a sensibilidade dos micro-organismos ao UV depende do comprimento da onda produzida. Outro problema que afeta o tratamento é a presença de sólidos suspensos, pois reduz a eficiência da irradiação ultravioleta. Assim, a redução máxima de organismos alcançada na água de lastro destes navios foi de 78%. Para minimizar este problema busca-se sempre que possível combinar UV com filtração para reduzir a turbidez.

Wright (2004) apresentou os resultados de um estudo de campo realizado no Porto de Baltimore, em que foi utilizado sistema de luzes UV, como uma das alternativas de tratamento da água de lastro. A taxa de mortalidade de fitoplânctons foi de 95%, devido à presença de organismos resistentes. Neste contexto, Oliveira (2003) explica que muitos organismos são resistentes à radiação ultravioleta, tais como bactérias, vírus, fungos, esporos e cistos. Isto se deve ao fato, por exemplo, dos cistos possuírem uma cápsula resistente, que serve de proteção contra agentes químicos ou físicos. No caso de vírus e bactérias, estes precisam de doses elevadas de radiação para sua inativação. Foi observado que alguns protozoários tratados com doses subletais de radiação UV conseguem reparar os danos causados no seu DNA e não são eliminados com o método (MESBAHI, 2004).

A diferença de eficácia na aplicação da radiação UV nos casos apresentados pode ter ocorrido, principalmente, pela qualidade da água coletada na realização dos testes. Este tipo de tratamento é muito sensível em relação aos elementos presentes na água durante a aplicação de radiação UV na água. Por outro lado, a radiação UV pode trazer problemas ao navio como a corrosão de metais, revestimentos e vedação no casco (MESBAHI, 2004). Deste modo, deve ser mais bem investigado os efeitos adversos que ele pode causar à estrutura do navio.

3.4.3 Ozônio

O ozônio O_3 é um gás alotrópico do oxigênio. É um biocida usado no tratamento de água potável e em indústrias, não formando subprodutos tóxicos em água doce. O ozônio é certamente um poderoso agente, que rapidamente destrói vírus e bactérias, incluindo esporos, quando usado como desinfetante nos tratamentos de água convencional (BROWN e CALDWELL, 2007). O ozônio é produzido através de um gerador que consiste, basicamente, em um tubo (dielétrico), no qual passa o oxigênio, e no qual uma descarga elétrica constante (efeito carona), gerada através de um transformador nele existente, transforma a molécula de oxigênio (O_2) em uma molécula de ozônio (O_3) (CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2002).

Assim, o ozônio é mesclado na água. O efeito biológico depende da concentração e do período de exposição. Longos tempos de contato com ozônio garantem uma alta taxa de mortalidade (KAZUMI, 2007). Em sistemas industriais o ozônio é inserido na água através de borbulhamento, o que confere maior eficiência ao processo (MESBAHI, 2004). Oliveira (2003) apresenta algumas vantagens e desvantagens deste método.

Vantagens:

- É mais efetivo que o cloro na destruição de vírus e bactérias;
- Utiliza curto tempo de contato;
- Não há matéria residual que necessite ser removida, pois o ozônio se decompõe rapidamente por ser instável.

Desvantagens:

- Baixas doses podem não inativar efetivamente alguns micro-organismos;
- É muito mais complexo que a utilização do cloro ou ultravioleta, requerendo equipamento sofisticado;
- É muito reativo e corrosivo, requerendo material resistente;
- É extremamente irritante e possivelmente tóxico.

Com uma aplicação de O_3 no tratamento de água de lastro obteve-se aproximadamente 89% de eliminação do fitoplâncton presente na água. Além disso, o sistema reduziu o nível de clorofila presente na água. O O_3 causa uma significativa redução no Redox (indicador oxidação-redução) e, como consequência, produz a corrosão do metal, revestimentos e na vedação (MESBAHI, 2004).

3.4.4 Biocidas

Os biocidas são utilizados para tratamento da água de abastecimento e podem ser eficientes no tratamento de micro-organismos. O biocida mais conhecido é o cloro, empregado no tratamento de água e esgoto. A eficiência do cloro está relacionada com o pH neutro. Em geral, costuma-se neutralizar a água antes da aplicação do cloro. Como a água do mar apresenta pH alcalino, ou seja, em torno de 8, este é um dos principais problemas da utilização do cloro como tratamento. Em contato com o cloro, a água do mar produz trihalometanos (THM). Este composto, gerado a partir da mistura do cloro com os organismos presentes na água de lastro, é classificado como cancerígeno (SILVA e FERNANDES, 2004).

O uso de biocidas pode causar câncer e desenvolver problemas reprodutivos nos animais (BALLAST WATER BIOCIDES INVESTIGATION PANEL, 2002). Além disso, o uso destas substâncias coloca em risco a tripulação que manuseia estes compostos.

Contudo, dependendo da situação, o cloro pode ser uma alternativa, principalmente em casos de acidentes com navio, quando ocorrer vazamento ou liberação de água de lastro de locais de alto risco. Waite *et al.* (1999) apresentam o caso de um acidente que aconteceu com o navio petroleiro M/T Igloo Moon próximo a Miami em 1996. A água de lastro do navio precisava ser retirada

para manter a flutuabilidade do navio. Contudo o lastro tinha sido captado em uma região de alto risco e o local em que o navio estava fundeado era de corais sensíveis. A solução encontrada foi tratar a água de lastro com cloro antes de lançá-la no local.

Silva e Fernandes (2004) realizaram um experimento com cloro a bordo do navio graneleiro Frotargetina, em junho de 2000, no Porto do Forno em Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, em quatro tanques de lastro do navio. Os resultados indicaram uma redução de 70% da quantidade de fitoplâncton presente na água de lastro do navio.

Zhang *et al.* (2004) conduziram testes na China com amostras de água de lastro de vários locais e concluíram que a taxa de mortalidade de fitoplâncton foi da ordem de 80%, em aproximadamente 120 horas de contato da água com o produto, numa concentração de 1,55 mg/L. Os autores indicam que, ao invés de usar cloro, deve ser utilizado neste processo o dióxido de cloro, que não produz trihalometanos, sabor ou odores desagradáveis e ainda pode ser usado em qualquer pH.

3.4.5 Desoxigenação

Este processo consiste, basicamente, em inserir gás inerte via orifícios em tubulações que estão distribuídas no fundo dos tanques de lastro dos navios. O gás inerte padrão gerado nos navios é composto de 84% de nitrogênio, de 12-14% de CO₂ e 2% de oxigênio. Assim, este gás é inserido na água de lastro e o resultado é a falta de oxigênio na água, devido ao alto nível de CO₂ e à redução do pH de 8 para 6, o que leva a morte dos organismos presentes na água de lastro (HUSAIN *et al.*, 2004).

A privação do oxigênio (ou a desoxigenação) é tóxica para peixes, larvas de invertebrados e bactérias aeróbias, mas é ineficaz contra as bactérias anaeróbicas e os estágios de cisto e esporo, incluindo cistos dos dinoflagelados (algas). Assim, a desoxigenação é somente uma solução parcial para matar uma escala de espécies aquáticas encontradas na água de lastro.

HUSAIN *et al.* (2004) concluíram que a utilização de gás inerte neste processo pode matar 95% das espécies de fitoplâncton, zooplâncton, microalgas e invertebrados na água de lastro. O sistema de tratamento pode ser realizado com o navio atracado no píer ou totalmente automatizado enquanto o navio estiver navegando.

É necessária a instalação de múltiplos sensores dentro do tanque para monitorar o nível de pH e oxigênio. Mesbahi (2004) estimou que o custo de instalação deste sistema em um navio tanque, com 300.000 DWT e oito tanques de lastro, seria na ordem de US\$ 3 milhões.

3.4.6 Eletricidade

Várias técnicas estão sendo desenvolvidas para aplicação de energia elétrica na água de lastro. A porcentagem de esterilização da água aumenta conforme a intensidade da “corrente elétrica” (SILVA e FERNANDES, 2004). Leffler *et al.*, (2004) explicam que o processo de eletro-ionização da água de lastro aumenta a mortalidade de organismos acima de 95%. Os autores instalaram um protótipo em um navio e realizaram o teste. Constatou-se que houve uma redução de 95% do total de bactérias presentes na água. No caso dos protistas (algas e protozoários) a eficiência foi de 90%.

Dang *et al.* (2004) conduziram testes de eletrólise na água de lastro. Os autores identificaram em laboratórios vários tipos de espécies presentes na água de lastro. Em seguida, iniciaram o tratamento aplicando corrente elétrica na água. O resultado indicou que foi possível eliminar quatro tipos de algas diferentes, com uma concentração inicial de cloro de 4 ppm. A mortalidade total do fitoplâncton foi de 72% e das bactérias 99%.

Outra opção que se encontra em fase inicial de estudo consiste em transferir pulsos elétricos através de eletrodos para a água de lastro, que eletrocuta os micro-organismos. Estima-se que o custo para instalação do sistema é da ordem de US\$ 350.000, além de um custo de US\$150 por hora de operação. Contudo, como se encontra em fase de estudo, os custos associados a esta tecnologia podem sofrer alterações (FACT SHEET 14, 2005).

A tecnologia de pulso de campo elétrico está sendo investigada como um meio de impedir a bioincrustação na entrada dos encanamentos de água em navios e em sistemas na costa. A água circula entre dois eletrodos de metal e é sujeita a um pulso elétrico com duração na ordem de um microssegundo, com 15 KV até 45 KV aplicados aos eletrodos (TSOLAKI e DIAMADOPOULOS, 2010).

Mesbahi (2004) explica que a mortalidade de espécies de zooplâncton em todos os testes conduzidos com esta técnica nos EUA foi da ordem de 40%. Além disso, alcançou-se um nível de redução de 71% de clorofila. Não houve incremento de corrosão no revestimento e vedação do casco.

3.4.7 Térmico

O tratamento térmico tem sido exaustivamente testado, mas não há certeza da temperatura ideal para eliminar todos os micro-organismos, contudo, sugere-se que a eliminação ocorra a partir de 40° C (TSOLAKI e DIAMADOPOULOS, 2010). Este procedimento está esquematizado na Figura 22. Basicamente, todas as alternativas térmicas buscam captar o calor gerado pelas máquinas do navio para aquecer a água de lastro (RIGBY, 1994).

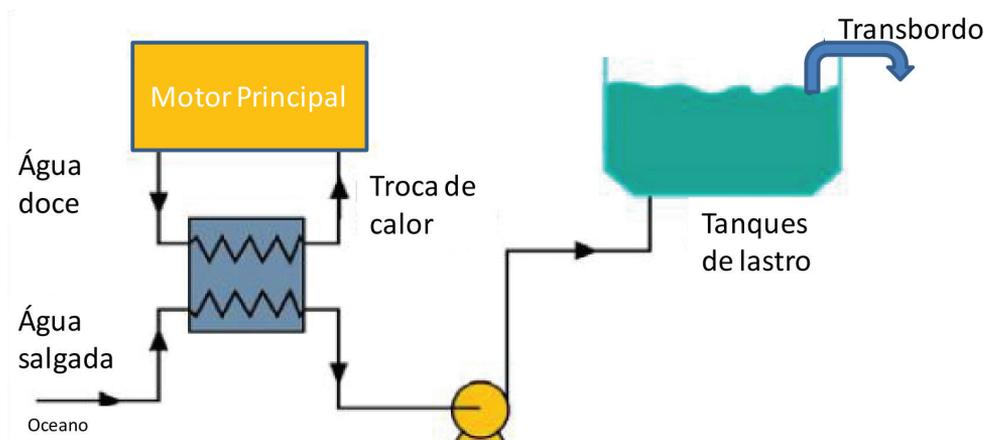


Figura 22 Sistema de tratamento térmico

Fonte: Pereira e Brinati (2008) adaptado de Rigby (1994)

Este sistema foi originalmente proposto por Rigby (1994) que recomenda utilizar o calor gerado pelas máquinas principais e pelo sistema de refrigeração de água do navio. Existe em um navio muito calor disponível para aquecer uma grande quantidade de água. Encanamentos adicionais seriam necessários para bombear a água do lastro através dos trocadores de calor existentes. Estão em progresso investigações relacionadas com a temperatura do tratamento e o tempo necessário, para matar ou deixar inativos determinados organismos (TAYLOR, 1995).

Rigby (1994) estimou que para aquecer 50.000 t de água de lastro do navio Iron Whyalla de 30°C para 45°C, durante a operação de lastro e deslastro seria necessário que o navio tivesse uma potência instalada de 70 MW, sendo que a potência das máquinas instalada no navio era de 13,7 MW. O tempo necessário para tratar este volume de água é de aproximadamente cinco dias. Além disso, para garantir a eficiência do sistema, a água de lastro aquecida deve ficar retida por algumas horas nos tanques antes de ser descartada. Radan e Lovriac (2000) explicam que para o tratamento ser eficaz a água deve ficar no mínimo por cerca de 7 horas, a uma temperatura variando entre 40°C e 45°C dentro do tanque de lastro. Contudo, o grande problema é manter a temperatura da água uniforme por longo tempo no mar.

Há de se considerar que a eficiência térmica dos motores varia amplamente de navio para navio e depende também da forma de utilização. Existem outros fatores que devem ser analisados para implantar este tipo tratamento, como a temperatura da água do mar, capacidade das bombas de água de lastro, arranjo das redes e requisitos operacionais. Consequentemente, a natureza e a viabilidade do uso deste sistema para o tratamento da água de lastro requerem uma análise detalhada dos requisitos específicos de cada navio.

Neste contexto, Radan e Lovriac (2000) sugerem que um sistema de ciclo fechado para aquecimento da água lastro pode obter maior eficiência térmica, ao invés do sistema apresentado por RIGBY (2004). Através de um sistema de trocadores de calor, interconectado a uma rede de tubulações entre os tanques, poderia ser fornecida água quente para todos os tanques ligados com o sistema de refrigeração do navio.

Outra questão refere-se ao espaço adicional necessário na praça de máquinas para instalar o sistema. Zhou & Lagogiannis (2003) calcularam o espaço adicional necessário para instalar um sistema de aquecimento no navio M/T Seaprincess, com cinco trocadores de calor. O espaço necessário para instalação seria de 12,07 m². Além disso, devem-se considerar espaços para tubulação, válvulas, sistemas de monitoração dentre outros que não foram computados pelos autores. O custo de um sistema desses é da ordem de £ 210.500 ou aproximadamente US\$ 842.000⁶, além dos custos de conversão da maquinaria e instalação. Por outro lado, estima-se que seja necessário aproximadamente uma hora de preparação “setup” até que o sistema de aquecimento esteja pronto para começar a aquecer a água nos tanques de lastro. Mountfort *et al.*, (2003) estimaram que o tempo necessário para aquecer a água em temperatura ambiente, aproximadamente 25 °C, contida nos tanques de lastro, para uma temperatura de 30°C seja de 80 horas.

Algumas considerações importantes são feitas em relação a este método de tratamento pelo (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996):

- **Tempo da viagem:** algumas viagens serão demasiadamente curtas para permitir o aquecimento da água à temperatura solicitada ou para mantê-la nesta temperatura no período exigido. Neste contexto, Rigby (1994) explica que este método pode ser bastante utilizado em navios porta contêineres e de passageiros, pois em geral carregam pequenas quantidades de água de lastro, em relação a navios graneleiros;
- **Volume de água de lastro que o tratamento exige:** há uma quantidade limitada de energia disponível das fontes de troca de calor. Assim, há restrições ligadas ao volume de água de lastro que pode ser tratado. Nestes casos, Rigby (2004) e Stocks *et al.* (2004) não descartam a necessidade de uma fonte adicional de calor com uma caldeira dedicada a esta operação;
- **Temperatura da água ambiente:** a demanda de energia para o aquecimento pode ser reduzida significativamente quando a temperatura da água está em níveis tropicais ou de verão (30°C ou mais).
- Cabe salientar que este tipo de tratamento pode ser inviável para navios que operem em regiões geladas, devido à grande perda de calor e o pro-

⁶ Valores estimados em junho de 2008.

blema de estresse que pode ser causado na estrutura do navio, em função das grandes variações térmicas entre o navio e o mar.

Contudo, o tratamento térmico da água do lastro é potencialmente atrativo: (1) a perda de calor pelo motor do navio é uma possível fonte de energia para aquecer a água do lastro, e (2) nenhum produto secundário ou resíduo químico é descarregado.

Embora o tratamento térmico não envolva a descarga de produtos secundários químicos e resíduos, a liberação de água aquecida dos tanques de lastro pode ser de preocupação ambiental. Além disso, talvez seja necessário filtrar organismos mortos depois do tratamento. Este sistema também pode ser implementado em estações de tratamento onshore, em que as fontes de calor podem ser caldeiras industriais.

3.4.8 Hidrociclones

O tratamento com hidrociclones é um sistema que está sendo proposto, em conjunto com a filtração, para separação dos micro-organismos da água através da geração de pequenos ciclones, que têm por objetivo separar os elementos mais pesados do que a água (KAZUMI, 2007, LLOYD'S REGISTER, 2007).

O funcionamento deste sistema consiste no direcionamento do fluxo captado pela tomada d'água para o centro do equipamento, que é uma região cônica, até seu local de saída do lado oposto da entrada. Através de um vórtice criado no centro do equipamento, os sólidos contidos no fluido são removidos através de pequeno tubo de descarga localizado no fundo do separador. Para assegurar que a pressão no fundo seja suficiente para separar os sólidos suspensos na água, existe uma válvula que regula a pressão durante a utilização do equipamento (DOBROSKI *et al.*, 2007). Este sistema está esquematizado na Figura 23.

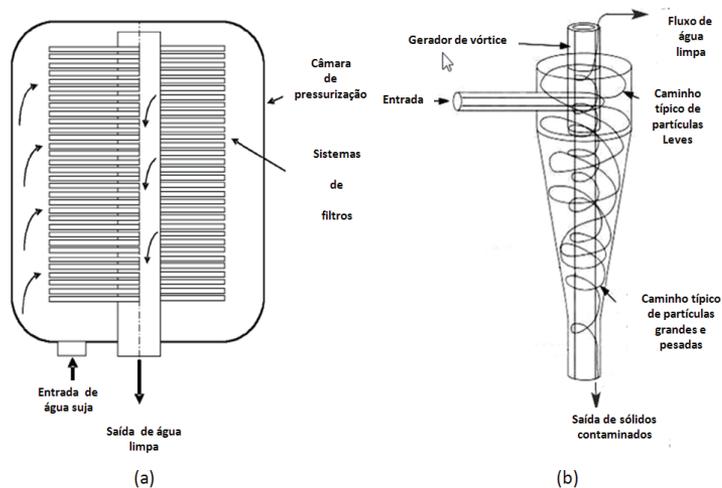


Figura 23 Típico Separador por Hidrociclone

Fonte: Lloyd's Register (2007)

Algumas considerações importantes sobre este método segundo Lloyd's Register (2007):

- O hidrociclone pode ser instalado verticalmente, quando possível com a entrada na posição superior. Pode também ser instalado inclinado se houver limitações de espaço, mas a eficiência pode ser menor quando posto na horizontal;
- É recomendada a utilização de filtros com 3/8" de diâmetro na tomada d'água para remover grandes organismos presentes na água;
- Este sistema pode ser instalado sozinho no navio, ou em pequenos grupos em paralelo, que pode ser acionado em função do volume e do tanque que receberá a água de lastro.
- Röpell e Mann (2003) conduziram testes utilizando-se de um sistema misto com hidrociclones e filtração. Os testes foram realizados em unidades em terra nos seguintes locais: mar Báltico, Porto de Hamburgo e no Rio Elba. Os testes foram realizados durante quatro semanas e foram coletadas amostras de água de lastro de navios que operavam nestas regiões. Os resultados indicaram que a eficiência do sistema foi 80% para organismos <100 µm e de 97% para >100 µm.

3.4.9 Ultrassom

Este método consiste, basicamente, da emissão de ondas sonoras na água com objetivo de eliminar os organismos presentes na água de lastro (TSOLAKI e DIAMADOPOULOS, 2010). De acordo com NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996), o ultrassom, em frequências e escalas de potência apropriadas, destrói micro-organismos nos líquidos por meio de esforços mecânicos localizados, resultantes da cavitação. Sistemas de tratamento ultrassônicos usam transdutores para gerar compressões e rarefações alternadas no líquido a ser tratado. A cavitação resultante é influenciada pela frequência, densidade da potência, tempo de exposição, e pelas propriedades físicas e químicas do líquido. As melhores frequências para destruição dos micro-organismos situam-se na escala mais baixa de frequências ultrassônicas, de 15 a 100 quilohertzes. A aplicação do tratamento de ultrassom em grandes volumes de líquido apresentou resultados variados.

A eficácia do tratamento diminui com o aumento da distância do transdutor, pois a densidade de energia no líquido diminui. A eficácia do tratamento ultrassônico aumenta com o tempo de exposição e pode também ser influenciada pelos efeitos de ressonância devido à geometria do recipiente (SASSI *et al.*, 2005).

3.5 SISTEMAS DE TRATAMENTO APROVADOS PELA IMO

Atualmente, existem alguns fabricantes que já obtiveram todas as certificações e foram aprovados pela IMO a fornecer sistemas de tratamento para serem

instalados a bordo dos navios. Grande parte destes sistemas utiliza as técnicas apresentadas anteriormente, sendo que muitos deles fazem uso misto de técnicas para aumentar a eficiência do tratamento. Os principais sistemas e fabricantes são:

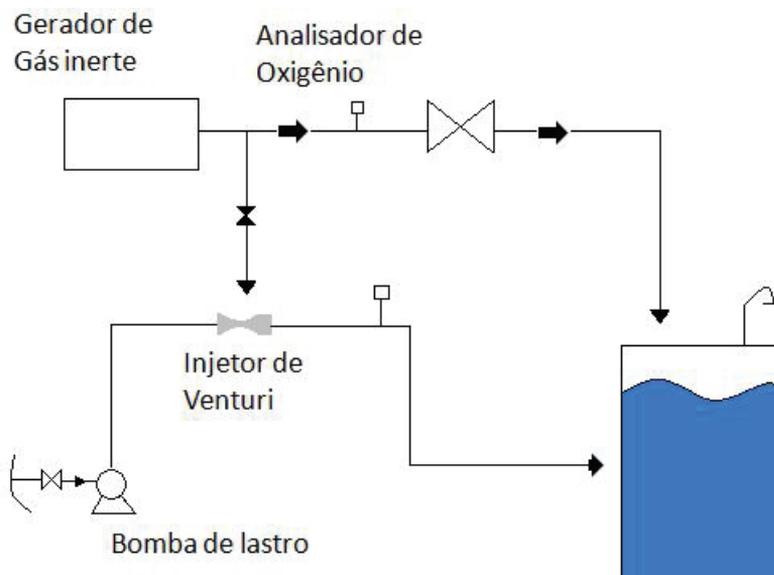
Venturi Oxygen Stripping®, NEI Treatment systems, LLC;

- SEDNA®, Hamann AG;
- PureBallast, Alfa Laval AB;
- Hyde Guardian™, Hyde Marine (Lamor Group);
- Ecochlor, Ecochlor Inc.

A seguir serão apresentadas, sucintamente, as características de cada um destes sistemas.

3.5.1 Venturi Oxygen Stripping®

O sistema Venturi Oxygen Stripping® – VOS foi desenvolvido e patenteado pela NEI Treatment Systems, LLC. Este é um sistema em linha que mistura gás inerte (nitrogênio com pequenas quantidades de dióxido de carbono e oxigênio) diretamente na água de lastro. O gás é misturado com a água de lastro usando um injetor tipo Venturi que cria microbolhas onde o oxigênio dissolvido é rapidamente misturado no ponto de entrada do gás (Figura 24). Por causa da adição de dióxido de carbono na solução formam-se ácidos carbônicos e carboxílico, assim o pH da água é tratado e reduzido para ficar entre 5,5 e 6 (TAMBURRI e HUBREGTS, 2005).



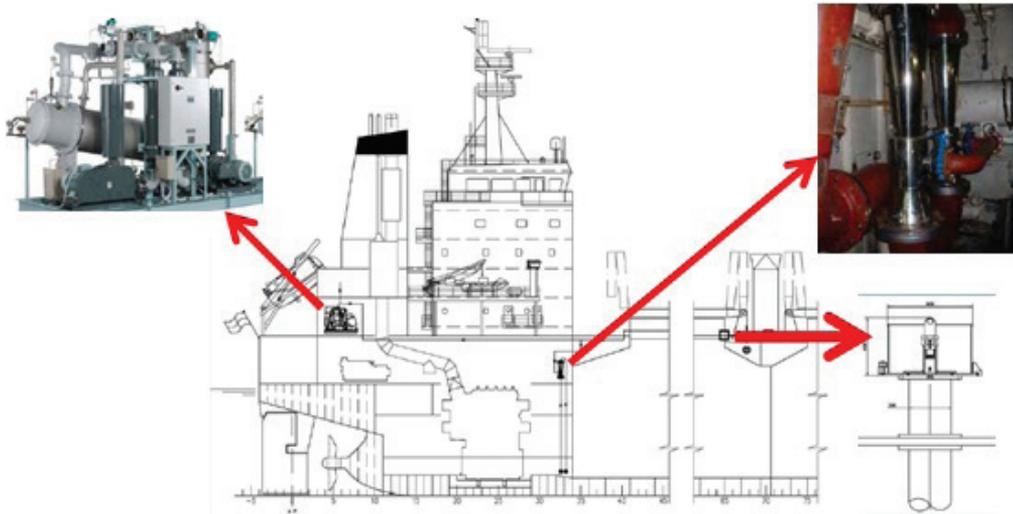


Figura 24 Sistema Venturi Oxygen Stripping®

Fonte: Adaptado de Tamburri e Hubregts (2005) e Schnack *et al.* (2009)

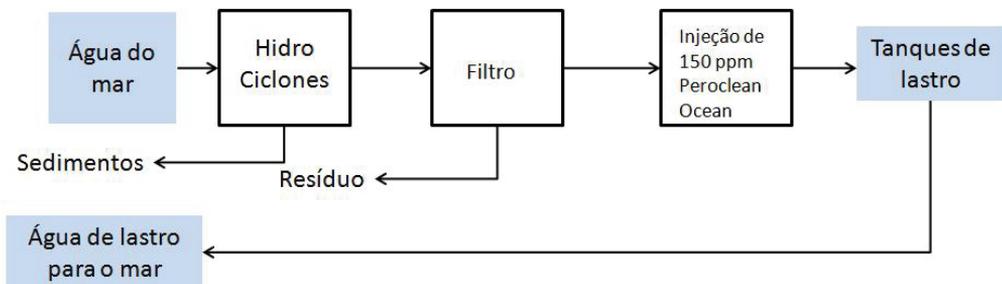
Os elementos que compõem este sistema são: gerador de gás, injetores Venturi, sopradores de gás, sistema de refrigeração das bombas de água, válvulas e disjuntores. Este sistema foi homologado pela IMO em 2008.

3.5.2 SEDNA®, Hamann AG

O sistema SEDNA® foi desenvolvido e patenteado pela Hamann AG. O tratamento da água de lastro através deste sistema consiste de três etapas:

1. Primeiro a água de lastro é captada e passa por um conjunto de hidrociclones;
2. Na sequência a água é filtrada através de um conjunto de filtros e;

Por fim é injetado ácido peróxido na água, conforme mostrado na Figura 25.



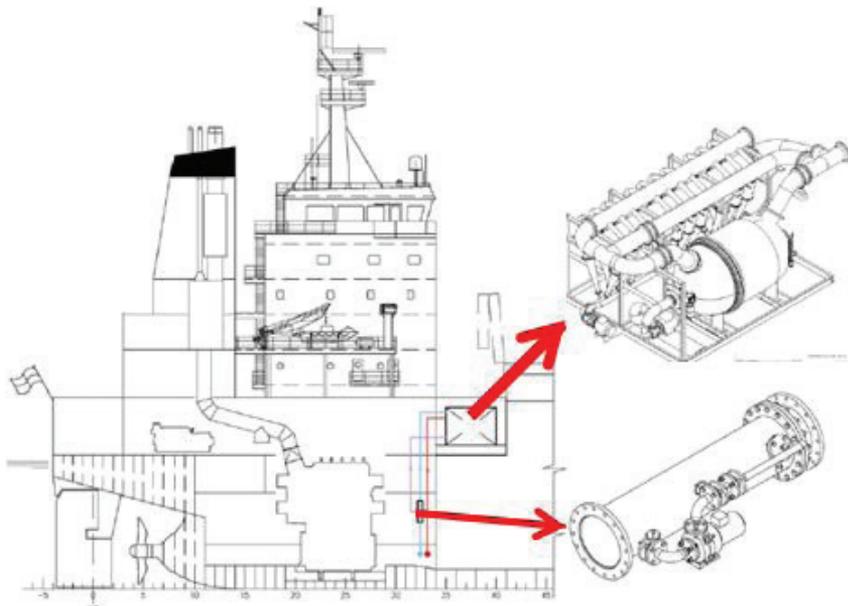


Figura 25 Sistema SEDNA®

Fonte: Adaptado de Schnack *et al.* (2009)

Os elementos que compõem este sistema são:

1. Dois estágios de filtração, hidrociclone, injetor químico, ácido peróxido;
2. Filtros, tanques para substâncias ativas, seção de mistura e painel de controle. Este sistema foi homologado pela IMO em 2008.

B-PureBallast, Alfa Laval AB;

O sistema PureBallast® foi desenvolvido e patenteado pela Alfa Laval AB. Este sistema foi concebido para operar no lastro e no deslastro do navio. Durante o lastro, a água passa por um filtro de 50 microns para remover quaisquer partículas maiores e organismos. A água segue até a unidade de *Advanced Oxidation Technology – AOT Wallenius*, que se utiliza de um sistema de radiação UV para produzir radicais livres que quebram os organismos que passaram pelo filtro. Quando a água é despejada para fora dos navios passa novamente pela Wallenius unidade AOT, neutralizando a água novamente, conforme mostrado na Figura 26.

Os elementos que compõem este sistema são: filtros, sistema de radiação UV com câmaras de reator com catalisador (dióxido de titânio), painéis de energia para reatores, unidade de limpeza para as lâmpadas, medidor de vazão e painel de controle. Este sistema foi homologado pela IMO em 2007.

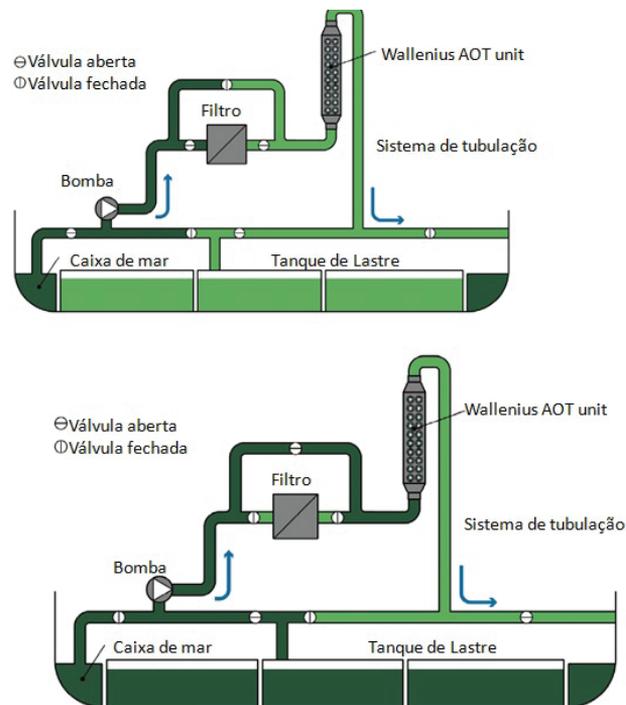


Figura 26 Sistema PureBallast®

Fonte: Adaptado de www.alfalaval.com

3.5.3 Hyde Guardian™, Hyde Marine (Lamor Group)

O sistema Hyde Guardian™ ® foi desenvolvido e patenteado pela Hyde Marine (Lamor Group). Este sistema foi desenvolvido para operar no lastro e no deslastro do navio. Durante o lastro, a água passa por um filtro de 50 microns para remover quaisquer partículas maiores e organismos. A água segue até a unidade que gera radiação UV. O sistema UV utiliza lâmpadas de média pressão orientadas perpendicularmente ao fluxo da água para aumentar a eficiência do tratamento e reduzir o tamanho do sistema. A forma de operação do sistema é análoga ao sistema anterior, pois na operação de deslastro a água passa pelo sistema UV novamente. A Figura 27 mostra o sistema instalado a bordo do navio Mercury (HYDE GUARDIAN™, 2010).

Os elementos que compõem este sistema são: filtros, sistema de radiação UV, painéis de energia para reatores, unidade de limpeza para as lâmpadas, medidor de vazão e painel de controle energia. Este sistema foi homologado pela IMO em 2008.

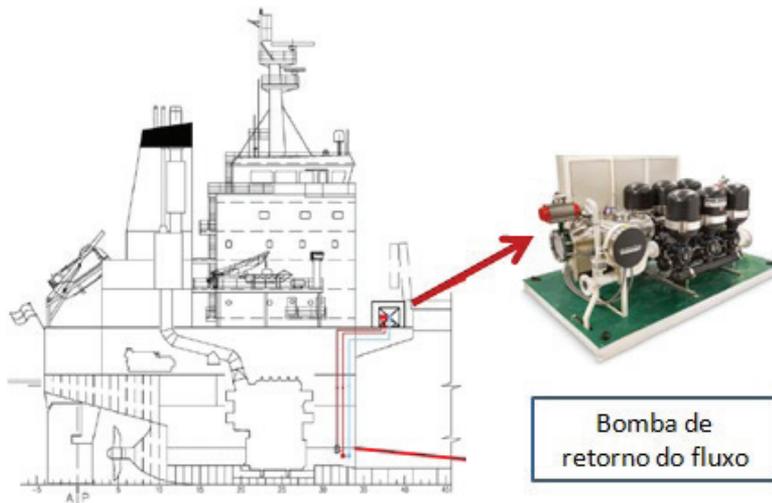


Figura 27 Sistema Hyde Guardian™ instalado a bordo do navio Mercury

Fonte: Adaptado de www.hydemarine.com

3.5.4 Ecochlor, Ecochlor Inc.

O sistema Ecochlor® foi desenvolvido e patenteado pela Ecochlor, Inc. Este sistema foi desenvolvido para operar durante a operação de lastro do navio, em que a água segue até a unidade de filtração. A água, depois de filtrada, é direcionada para um sistema de injeção de dióxido de cloro. Após a aplicação do gás a água segue para o tanque de lastro. Uma das características do dióxido de cloro é a rápida dissipação, sendo ambientalmente aceitável. A Figura 28 ilustra o sistema de tratamento.



Figura 28 Sistema Ecochlor

Fonte: www.ecochlor.com

3.6 COMPARAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS HOMOLOGADOS

Os elementos que compõem este sistema são: filtros, medidor de fluxo ultrassônico, unidade de armazenamento de químicos e unidade de mistura, bomba e painel de controle. Este sistema foi homologado pela IMO em 2008. Schnack *et al.* (2009) pesquisaram o custo de aquisição e operação de cada um dos sistemas apresentados homologados pela IMO para um navio graneleiro da classe Panamax, cujas características, bem como os custos operacionais estão na Tabela 2.

Tabela 2 Características do navio Panamax

COMPRIMENTO (M)	180
Boca (m)	30
Calado carregado (m)	14
Calado leve (m)	10
DWT (t)	35.000
Volume de Carga (m ³)	46.800
Velocidade (nós)	14
Quantidade de bombas de lastro	2
Capacidade da bomba de lastro (m ³ /h)	800
Capacidade leve de lastro (m ³)	12.900
Capacidade total de lastro (m ³)	23.000
Estimativa de viagens por ano	9 viagens condição de lastro leve e 1 condição total de lastro
Estimativa de custo de combustível anual	US\$2.300.000
Estimativa de custo de combustível anual das máquinas auxiliares utilizadas nas operações de troca de água de lastro	US\$300.000

Fonte: Adaptado de Schnack *et al.* (2009)

No custo de aquisição foi incorporado o valor da instalação do equipamento, incluindo para cada sistema os recursos necessários para este fim, como por exemplo, tubulação, cabos elétricos e estrutura de aço para reforços e fixação, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 Custo de capital para cada alternativa de tratamento homologada pela IMO para um navio Panamax

DESCRIÇÃO	NEI VOS NEI TREATMENT SYSTEMS	SEDNA HAMANN AG	PUREBALLAST ALFA LAVAL AB	GUARDIAN HYDE MARINE	ECOCHLOR ECOCHLOR INC.
Aquisição (US\$)	640.000	1.670.000	1.180.000	1.240.000	680.000
Instalação (US\$)	130.000	270.000	60.000	140.000	40.000
Total (US\$)	770.000	1.940.000	1.240.000	1.380.000	720.000

Fonte: Adaptado de Schnack *et al.* (2009)

O custo de operação considera o custo adicional de consumo de combustível, em função de maior utilização do sistema Diesel Gerador durante as operações de lastro, bem como outros elementos necessários para operação do sistema, como aquisição de químicos e etc.

Tabela 4 Custo anual adicional de operação do sistema

DESCRIÇÃO	NEI VOS NEI TREATMENT SYSTEMS	SEDNA HAMANN AG	PUREBALLAST ALFA LAVAL AB	GUARDIAN HYDE MARINE	ECOCHLOR ECOCHLOR INC.
Adicional de combustível (US\$)	15.000	4.000	6.000	2.000	1.000
Serviço (US\$)	10.000	35.000	16.000	3.000	17.000
Total (US\$)	25.000	39.000	22.000	5.000	18.000

Fonte: Adaptado de Schnack *et al.* (2009)

Por fim, foi realizada uma avaliação do volume adicional de emissões de cada sistema, conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 Emissões adicionais geradas pelo navio em função de cada um dos sistemas de tratamento

DESCRIÇÃO	NEI VOS NEI TREATMENT SYSTEMS	SEDNA HAMANN AG	PUREBALLAST ALFA LAVAL AB	GUARDIAN HYDE MARINE	ECOCHLOR ECOCHLOR INC.
CO ₂ (toneladas)	115	29	47	18	8
Substâncias ativas (toneladas)	-	21	-	-	6

Fonte: Adaptado de Schnack *et al.* (2009)

A seleção de cada sistema de tratamento fica condicionada às características do navio tais como: espaço disponível para instalação, custo de aquisição, instalação, operação e manutenção (que não foram considerados neste estudo), além dos requisitos adicionais necessários para o funcionamento do sistema, como potência requerida dos Diesel-Geradores, capacidade das bombas de lastro, que impõem a seleção do tipo de tratamento em função da sua vazão, bem como as emissões oriundas de cada sistema.

Além disso, existe a rota que o navio irá operar que poderá priorizar um sistema em detrimento de outro, em função dos requisitos de eficiência exigidos por cada país. Por exemplo, nos Estados Unidos, os estados de Nova Iorque e Wisconsin anunciaram que a partir de 2012 e 2013 irão impor requisitos 100 e 1000 vezes mais restritos daqueles estabelecidos pela IMO em 2004 respectivamente, para permitir o despejo de água de lastro em seu território (NALBONE, 2009 e NEW YORK STATE DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL CONSERVATION, 2009). Deste modo, os sistemas de tratamento a bordo dos navios deverão atender esses critérios. Logo, o armador deverá selecionar o sistema que atenda esses parâmetros, caso eles existam.

É importante salientar que as condições em que estes sistemas apresentados foram testados considerando o mar e rotas conhecidas pelos fabricantes, ou seja, foi selecionado um navio, instalado o sistema e monitorada a eficácia do tratamento por seis meses (prazo estipulado pela IMO para testes a bordo). Considerando que neste período o navio fez três ou quatro viagens de longo curso é muito difícil afirmar que o sistema é capaz de eliminar todas as espécies patogênicas e exóticas que existem ao redor do mundo, pelo fato do navio ter visitado uma pequena porção dos portos existentes.

Outro ponto importante são os custos apresentados que se referem aos de um navio de pequeno porte. Certamente para navios maiores como Capesize ou

VLCC, os custos de aquisição, operação, manutenção, bem como as emissões serão maiores.

Por outro lado, uma vez que o navio seja dotado de um sistema de tratamento a bordo já oferece uma melhor condição de controle e monitoramento da qualidade da água de lastro despejada no porto de destino.

3.7 DISCUSSÃO

Todos os métodos de tratamento físico, químico e biológico apresentados não garantem 100% de eficiência no tratamento, ou seja, nenhum deles consegue erradicar totalmente da água de lastro as espécies exóticas ou patogênicas, o que mostra que o problema ainda não está resolvido para a comunidade marítima internacional.

Todos apresentam vantagens e desvantagens no que tange à sua utilização. Alguns são facilmente implementados como os biocidas, em que não exigiria alto grau de treinamento da tripulação, embora existam os riscos de contato durante o manuseio e ao meio ambiente. Entretanto, o problema gerado pelos resíduos da combinação água de lastro versus biocidas, por exemplo, o cloro, apresenta sérios riscos ao meio ambiente, sendo muito difícil que as autoridades sanitárias internacionais permitam que o navio despeje a água de lastro com essa mistura. Tudo indica que dificilmente esse método será utilizado em larga escala a bordo dos navios.

A desoxigenação apresenta-se como uma boa alternativa a bordo dos navios, sendo que grande parte dos navios petroleiros utilizam-se de gás inerte, contudo, o custo para este tipo de equipamento apresentou-se relativamente alto.

O uso de aquecimento da água de lastro tem como mérito não precisar de um tratamento primário como filtração e a certeza da esterilização da água. Contudo, deve-se considerar que é muito difícil aquecer 10.000 m³ de água de 20° para 40° e manter esta temperatura uniforme por longo tempo. Além do que seu uso pode trazer sérios problemas ao meio ambiente se não houver um controle efetivo da temperatura de descarga da água de lastro tratada. Isso porque a descarga de água em alta temperatura pode ocasionar a morte dos organismos nativos ou que vivem no local da descarga.

Outros métodos como UV e elétricos ainda precisam de testes efetivos para comprovar sua eficácia. Por outro lado, não se tem ainda indicativos dos efeitos nocivos que os raios UV podem causar ao meio ambiente quando a água de lastro é despejada. Além disso, deve-se mensurar os riscos da instalação destes equipamentos, bem como os riscos que a tripulação estará sujeita em caso de acidentes com o navio. Equipamentos baseados em UV geralmente utilizam lâmpadas de mercúrio, material que é tóxico. O descarte das lâmpadas é uma questão importante, pois elas são altamente tóxicas e dependem de um procedimento de descarte seguro. Cabe ressaltar que uma falha deste sistema pode comprometer toda a

operação de lastro a bordo de um navio. Discussões neste sentido ocorreram durante o ICBWM-2008 com os fabricantes destas tecnologias, que não souberam informar qual a durabilidade e o período de troca das lâmpadas utilizadas neste processo, alegando que ainda estão em testes a bordo dos navios. Não identificamos dados públicos a respeito do descarte destes equipamentos.

Verificou-se ao longo do trabalho que na maioria dos casos, o método de filtração tem que ser utilizado para conferir maior eficiência ao método principal. Os filtros grosseiros são incorporados rotineiramente na maquinaria a bordo do navio para impedir a entrada de grandes objetos nos sistemas. Entretanto, quando a abertura das telas é reduzida para remover os organismos pequenos, tais como aqueles na escala de 10 μm , pode ocorrer a rápida obstrução e incrustação. Os filtros têm a desvantagem de ser uma simples técnica de separação de camadas, uma vez que o material é depositado na tela, o fluxo de água através da rede declina rapidamente.⁷

Por outro lado, cabe salientar que todos os tratamentos a bordo do navio requerem suprimento de energia e, como resultado, podem aumentar o consumo de combustível e podem gerar maior impacto ambiental associado com as emissões de gases e resíduos do processo de tratamento (lâmpadas UV, sedimentos retidos nos filtros, filtros entupidos, bem como micro-organismos e até mesmo peixes e outros animais marinhos mortos). Deste modo, deve-se recorrer aos tratamentos que utilizam a menor quantidade de energia possível. Assim, os tratamentos com calor residual ou desoxigenação podem ser uma boa alternativa. Os fabricantes dos sistemas de tratamento foram questionados durante o ICBWM -2008 sobre os impactos das suas tecnologias em relação ao aumento no consumo de combustível e energia do navio, mas não informaram com clareza qual o impacto que suas tecnologias podem causar, dizendo apenas que estes impactos estão sendo mensurados. Durante os eventos mais recentes 2016 e 2017 em que participamos não conseguimos obter respostas mais precisas para tais questionamentos.

Outra consideração importante é que, em grande parte dos métodos apresentados, é necessário fazer adaptações na maquinaria existente do navio. Considerando que a frota existente tenha que se adaptar e utilizar um sistema de tratamento de água de lastro a bordo, certamente será necessária a instalação de tubulações adicionais, bombas, sistemas elétricos o que poderá aumentar os níveis de manutenção dos navios e seus custos associados.

Além disso, há de se considerar também que estes sistemas podem falhar enquanto o navio estiver em alto mar. Nestes casos, será necessário conduzir o navio até a terra e utilizar-se de algum método operacional como a troca oceânica. Deste modo, mesmo com um sistema dotado de tratamento a bordo, o navio deverá ter procedimentos operacionais para o controle da água de lastro. Um estudo

⁷ Esta foi uma das principais razões para o fechamento da estação de testes em Cingapura.

recente realizado por Bakalar (2016) mostrou os problemas relacionados com BWMS instalados a bordo de navios em operação. Em um dos casos reportados, o autor mencionou o problema relacionado com entupimento dos filtros para aplicação de UV de um navio que atracou num porto brasileiro. O sistema não conseguiu operar devido o problema nos filtros. Neste caso, o capitão fez um bypass no BWMS e não tratou a água de lastro.

A eficácia de tratar a água do lastro com um biocida químico poderia ser avaliada medindo a quantidade de biocida (residual) na água, ao invés do nível de organismos. Do ponto de vista ambiental, um biocida desejável na água de lastro seria um que se degrada rapidamente em produtos secundários não tóxicos e que não gere uma ameaça química ao ambiente receptor.

Outra técnica que pode ser aplicada é o monitoramento da turbidez após a filtração. A turbidez indica se há partículas na água, algumas delas podendo ser organismos vivos. A baixa turbidez indicaria a falta de populações biológicas densas. Uma turbidez elevada poderia indicar concentrações de plâncton e de sedimento suspenso, sendo possível detectar falhas no processo de tratamento, principalmente quando se aplica UV. Já no caso do tratamento térmico deve-se analisar a temperatura da água residual e o nível dos organismos resultantes do processo. Cabe salientar que essas análises são quantitativas, ou seja, é necessário coletar amostras e analisá-las em laboratório.

Em resumo, todos os métodos apresentam riscos potenciais, o que demanda treinamento e instalação de padrões de segurança. Assim, julga-se importante que os oficiais e os tripulantes dos navios estejam aptos a monitorar a água do lastro. Por exemplo, muitos tripulantes já estão familiarizados com a operação e a manutenção dos sistemas de filtração para a coleta de água refrigerada, que são similares aos sistemas que seriam utilizados para tratar a água de lastro. Cabe salientar que nem todas as tecnologias propostas apresentam o mesmo grau de exigência e treinamento, devendo-se analisar caso a caso.

Bakalar (2016) reportou que as tripulações dos navios tiveram dificuldades para operar os BWMS a bordo dos navios, principalmente aqueles que usavam eletrólises e oxidante.

No ICBWM-2008 durante a apresentação de um fabricante de sistemas de tratamento de água de lastro baseado na tecnologia UV e filtração, o Prof. Mesbahi da Universidade de New Castle questionou o fabricante a respeito da confiabilidade e garantia que o sistema proposto poderia fornecer aos armadores. O fabricante respondeu que não poderia garantir com segurança total que seu sistema estava isento de falhas, mas se caso isso acontecesse ele poderia contar com o apoio dos três escritórios espalhados pelo mundo, sendo nos EUA, Alemanha e Singapura. Contudo, fica uma questão, caso um navio esteja carregado e operando, por exemplo, na América do Sul, quanto tempo ele ficará aguardando para

ser reparado? Uma vez declarado que o navio tem um sistema de tratamento a bordo deficiente qual autoridade portuária permitirá o despejo da água de lastro a bordo? Por fim, quem pagará o prejuízo do armador e do dono da carga?

Embora, todos esses pontos sejam apresentados em termos de questionar o uso destes sistemas a bordo dos navios, o ponto principal é que o estudo de Drobroski *et al.* 2014 mostrou que todos os sistemas de água de lastro homologados pela IMO não conseguiriam atender o padrão da Califórnia que é 100 vezes mais restritivos em relação aos padrões IMO D2. Foram analisados 77 sistemas de água de lastro disponíveis para serem instalados a bordo dos navios e nenhum deles foi capaz de atender aos padrões estabelecidos pela Califórnia.

Os padrões estabelecidos pela Califórnia de zero espécies detectadas na água de lastro foram adiados para 2030, devido a dificuldade de atendimento destes padrões pelos fabricantes.

Pior do que isso, outro estudo recente, publicado em 2015 pelo jornal científico *Marine Pollution Bulletin* intitulado “Failure of the Public Health Testing Program for Ballast Water Treatment Systems” mostrou que todos os sistemas de água de lastro projetados para serem instalados a bordo dos navios, nunca foram submetidos a testes semelhantes às condições reais de operação, no que se refere a eliminação de patógenos. Os pesquisadores analisaram os relatórios públicos de mais de 300 testes realizados nestes sistemas e não foram encontradas evidências que os mesmos foram submetidos para eliminar, por exemplo, o *Vibrio cholerae*, *E-coli* e *Enterococci*.

Este fator também influenciou a tomada de decisão sobre o fechamento dos testes realizados pela MERC. Embora ainda existam dúvidas em relação aos métodos de verificação, Cohen *et al.* (2017) revisaram as bases para atendimento das regulações americanas e identificaram que alguns BWMS puderam atingir eliminação de fitoplânctons 1.000 vezes acima do limite e zooplânctons acima de 10 vezes.

Tais aspectos colocam em dúvida a eficiência dos sistemas de tratamento de água de lastro a bordo dos navios e ainda nos faz acreditar que a troca da água de lastro seja uma medida mais assertiva que não deveria ser descartada como solução, obrigando assim, os navios mesmo dotados de sistemas de tratamento a realizar está prática.

Por fim, isso mostra que a discussão relativa a eficiência dos BWMSs ainda deverá demandar mais estudos e evidências científicas.

3.8 REFERÊNCIAS

ARAI, M. *et al.* Numerical Simulation of Sloshing of Water in Ship Tanks During Sequential Ballast Water Exchange in Seaways. Proceedings, OMAE'02, CD-ROM. 2002.

ARAI, M.; MAKIYAMA, H.S. Numerical simulation of bulk carriers' ballast water exchange at sea and assessment of sloshing loads. Proceedings, ISOPE-2004. CD-ROM. 2004.

AUSTRALIAN BALLAST WATER MANAGEMENT REQUIREMENTS – ABWMR. 2008.

BAKALAR, G. Comparisons of interdisciplinary ballast water treatment systems and operational experiences from ships. Springerplus. 2016.

BALLAST WATER BIOCIDES INVESTIGATION PANEL. Ballast Water Biocides Treatment Demonstration Project Using Copper and Sodium Hypochlorite. Michigan Environmental Science Board. 2002.

BROWN e CALDWELL. Port of Milwaukee Onshore Ballast Water Treatment–Feasibility 6 Study Report. Prepared for the Wisconsin Department of Natural Resources. Brown and 7 Caldwell, Milwaukee, WI. 2007. 114 p.

CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – CAPA. Evaluation of Ballast Water Treatment Technology for Control of 14 Nonindigenous Aquatic Organisms. State Water Resources Control Board, Sacramento, CA. 2002. 70 p.

COHEN, A. N.; DOBBS, F. C.; CHAPMAN, P.M. “Revisiting the basis for US ballast water regulations”. *Marine Pollution Bulletin*. 2017.

COHEN, A. N.; DOBBS, F. C. “Failure of the public health testing program for ballast water treatment systems.” *Marine Pollution Bulletin* (2015).

DAMES & MOORE. Phase I Final Report Ballast Water Exchange and Treatment. A Report 29 for the California Association of Port Authorities, Pacific Merchant Shipping Association, 30 Steamship Association of Southern California, and Western States Petroleum Association. 31 Dames and Moore, San Francisco, CA. 1999.

DAMES & MOORE. Phase I Final Report Ballast Water Exchange and Treatment. A Report 29 for the California Association of Port Authorities, Pacific Merchant Shipping Association, 30 Steamship Association of Southern California, and Western States Petroleum Association. 31 Dames and Moore, San Francisco, CA. 1999.

DANG, K. *et al.* Application study of ballast water treatment by electrolyzing seawater. In: Matheickal JT, Raaymakers S (eds), Second International Symposium on Ballast Water Treatment. International Maritime Organisation, London, UK, 2004. 103-110 p.

DARDEAU Jr, E. A., and Tony Bivens. *Zebra mussel control with backwash filtration*. No. CONF-9507190--. American Society of Civil Engineers, New York, NY (United States), 1995.

DOBROSKI, N., *et al.* “Assessment of the efficacy, availability and environmental impacts of ballast water treatment systems for use in California waters. “*Produced for the California State Legislature* (2014).

FACT SHEET 14, Ballast water treatment. 2005.

GOLLASCH, S. *et al.* Critical review of the IMO international convention on the management of ships' ballast water and sediments. *Harmful Algae*, 6, 2007. 585–600.

HUSAIN M, FELBECK H, APPLE R, ALTSHULLER D, QUIRMBACH C. 2004. Ballast water treatment by de-oxygenation with elevated CO₂ for a shipboard installa-

tion-a potentially affordable solution. In: Matheickal JT, Raaymakers S(eds), Second International Symposium on Ballast Water Treatment. International Maritime Organisation, London, UK, pp. 48-64.

KAMADA, K. *et al.* Study of ballast water Exchange by pumping-through method. IEEE. 2004.

KAZUMI, J. Ballast Water Treatment Technologies and Their Application for Vessels Entering the Great Lakes via the St. Lawrence Seaway. University of Miami. 2007.

KAZUMI, J. Ballast Water Treatment Technologies and Their Application for Vessels Entering the Great Lakes via the St. Lawrence Seaway. University of Miami. 2007.

KAZUMI, J. Ballast Water Treatment Technologies and Their Application for Vessels Entering the Great Lakes via the St. Lawrence Seaway. University of Miami. 2007.

LEFFLER, C.E.B. *et al.* Ballast Water Processing System utilizing several advanced oxidation concepts and neutralization techniques. International ballast conference Singapore. 2008.

MARKOVINA, R.; BLAGOJEVIC, B.; BAN, D., “Druzhba Adria” Project-managing ballast water problem. 2007.

MAURO, C.A. *et al.* O Método Brasileiro para troca de água de lastro. Boletim técnico da Petrobras 45 (3/4): 2002. 310-329 p.

MESBAHI, E. Latest results from testing seven different technologies under the EU MARTOB project- Where do we stand now? In: Matheickal JT, Raaymakers S (eds), Second International Symposium on Ballast Water Treatment. International Maritime Organisation, London, UK, 2004. 210-230 p.

MOUNTFORT, D. *et al.* Heat treatment of ship’s ballast water: Development and Application of Model Based on Laboratory Studies. Globallast. 2003.

NAKAMURA, Y. Ship Safety and Marine Environment -Study on Ballast Water Exchange Methods in ClassNK. First International Conference on Ballast Water Management, 2001.

NALBONE, J. Understanding the moving administrative, legislative, and litigation pieces of ballast water regulations. Great Lakes United. 2009. Disponível em http://www.greatlakeslegislators.org/Portals/0/pdfs/ballast-movingpieces_final.pdf. Acesso em 15/02/2010.

NEW YORK STATE DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL CONSERVATION. 2009. Disponível em <http://www.mntu.org/4.pdf>. Acesso em 21/02/2010.

NORMAM 20. Norma da Autoridade Marítima para o Gerenciamento da Água de Lastro de Navios – NORMAM-20/DPC. 2005.

OLIVEIRA, E.C.M. Desinfecção de efluentes sanitários tratados através da radiação ultravioleta. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2003.

PEREIRA N.N, PRANGE, G.J., Ship Ballast Tank Sediment Reduction Methods. Naval Engineers Journal. 2013.

RADAN D.; LOVRIC, J. Utilisation of diesel engine waste heat for ship’s ballast water heat treatment. Department of mechanical engineering polytechnic of Dubrovnik, Croatia. 2000.

RIGBY, G.; HALLEGRAEFF, G. The transfer and control of harmful marine organisms in shipping ballast water: behaviour of marine plankton and ballast water exchange trials on the MV “Iron Whyalla”. *J. Marine Environ. Eng.* 1, 1994. 91–110 p.

RÖPELL, H.; MANN, T. A new modular concept for the treatment of ships. Hamann project. 2nd International Ballast Water Treatment Proceedings. IMO. 2003.

RUIZ, G.M. *et al.* Status and trends of ballast water management in the United States. First biennial report of the National Ballast Information Clearinghouse: submitted to United States Coast Guard, 2001. Acesso em: 10 de dez. 2010 <http://invasions.si.edu/NBIC/nbic_news.htm>.

SAHO, N. *et al.* “Superconducting Magnetic Separator for Ballast Water Treatment.” Proceedings of the 2st International Ballast Water Treatment R & D Symposium London, UK: International Maritime Organization. 2003. 125-134 p.

SASSI, J., VIITASALO, SATU, J. RYTKONEN, AND E. LEPPAKOSKI. “Experiments with ultraviolet light, ultrasound and ozone technologies for onboard ballast water treatment.” (2005).

SHINODA, T. *et al.* Study on Ballast Water Exchange for Prevention of Biological Hazards (Part 2) Hydrological Model Test for Flow-through Method in Pitching Condition. Transactions, The West-Japan Society of Naval Architects, N.107, 2003. 27-35 p.

SILVA, J. S. V. da; FERNANDES, F. C. Avaliação de sobrevivência de organismos em água de lastro tratada com cloro. In: SILVA, J. S. V. da; SOUZA, R. C. de. (Orgs.). *Água de Lastro e Bioinvasão*. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

SILVA, J.; SOUZA, R. *Água de Lastro e Bioinvasão*. InterCiência. 2004.

TAMBURRI, M.; HUYPREGTS, I., Potential of Venturi Oxygen Stripping to Stop Ballast Water Invasions in Freshwater Environments. 2005. Disponível em: http://www.fws.gov/midwest/fisheries/33-Evaluationsofpilot-scaleventurioxgenstrippingtoprevent-ballastwaterinvasions/Huybregts_REU_05.pdf. Acesso em 13/02/2010.

TAYLOR, A. Personal communication to the Committee on Ships’ Ballast Operations, Washington, D.C., October 3. 1995.

TSOLAKI, Efi, and Evan Diamadopoulos. “Technologies for ballast water treatment: a review.” *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 85.1 (2010): 19-32.

WAITE, T.; MEARNNS, A.; BENGGIO, B.; “Ballast Water Treatment During Emergency Response: The Case of The M/T Igloo Moon,” Division of Hazardous Matter Response, NOAA, Seattle, Washington, 1999.

WRIGHT, G. Final Summary Report. April. 2004.

ZHOU, P.; LAGOIANNIS, V. On board treatment of ballast water (Technologies Development and Applications). *Globallast*. 2003.