



T R A B A L H O 21

GESTÃO DE MATERIAIS PERIGOSOS SÓLIDOS NO DESCOMISSIONAMENTO DE EMBARCAÇÕES: IMPACTOS AMBIENTAIS E ESTRATÉGIAS DE RECICLAGEM

Misael Santini de Freitas

Denise de Castro Bertagnolli

Eduarda Campos Martins

José Mauro Moraes Junior

Juliana Rodrigues Lima dos Santos

Maria Eduarda Aguiar Mariano

Milene França

Newton Narciso Pereira

RESUMO: Ao atingirem seu tempo de vida útil, embarcações e plataformas marítimas são encaminhadas para descomissionamento. Os materiais perigosos que fazem parte da estrutura das embarcações emergem como pontos de grande preocupação devido à complexidade de sua natureza química, o que os tornam um grande desafio para a reciclagem naval, para a saúde dos ecossistemas e da vida humana. Neste contexto, o presente trabalho caracteriza os materiais perigosos sólidos em termos de sua ocorrência em embarcações, os impactos ambientais e à saúde oriundos de seu manejo, e práticas emergentes para seu gerenciamento através de uma pesquisa bibliográfica exploratória. Os resultados sugerem a necessidade do atendimento às normatizações de reciclagem para garantir a destinação final ambientalmente adequada desses materiais.

PALAVRAS-CHAVE: Convenção de Hong Kong; amianto; metais tóxicos; retardantes de chama; anti-incrustantes

INTRODUÇÃO

Ao final de sua vida útil, que varia de 25 a 30 anos, embarcações e plataformas marítimas são encaminhadas para descomissionamento e reciclagem. A maior parte dos resíduos gerados é de sucata ferrosa reciclável, porém existem materiais perigosos que impõem uma série de riscos à saúde humana e aos ecossistemas marinhos e terrestres. Dentre esses materiais, encontram-se resíduos sólidos como amianto, metais tóxicos, retardantes de chama, tintas anti-incrustantes, entre outros (Du *et al.*, 2018).

O manejo seguro e eficiente desses materiais é essencial para mitigar os riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Estudos demonstram que grande parte das atividades de desmantelamento de embarcações ocorrem em regiões de países do Sul Asiático, como Bangladesh, Índia e Paquistão em função de vantagens concernentes à mão de obra barata e falta de regulamentações que controlem adequadamente esses processos (Lin *et al.*, 2022).

Evidencia-se, assim, a necessidade de atendimento a normatizações nacionais e internacionais para a gestão destes resíduos, como, por exemplo, a *Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)* no Brasil e *Convenção Internacional de Hong Kong para a Reciclagem Segura e Ambientalmente Adequada de Navios*, de 2009, que passou a vigorar em 26 de junho de 2025. O texto da Convenção determina que as partes envolvidas comprometem-se a minimizar, mitigar ou eliminar, da melhor forma possível, efeitos adversos sobre a saúde humana e o meio ambiente oriundos do processo de reciclagem naval (IMO, 2009).

Neste contexto, conhecer a natureza desses materiais perigosos e definir práticas seguras de gerenciamento de resíduos é essencial para mitigar e evitar consequências ambientais, como contaminação de solos, água e ar, bem como danos ocupacionais severos à saúde de trabalhadores expostos aos procedimentos perigosos de desmantelamento e às substâncias tóxicas.

OBJETIVO

Evidenciar os desafios relacionados aos resíduos perigosos sólidos oriundos do processo de desmantelamento de embarcações, por meio da caracterização desses materiais, da identificação de seus principais locais de ocorrência e implicações à saúde e ao meio ambiente, bem como mapear as práticas de gerenciamento desenvolvidas atualmente.

METODOLOGIA

Dado o caráter emergente da problemática em estudo, optou-se por uma pesquisa exploratória para investigação do tema, uma vez que esse tipo de pesquisa busca explorar temas pouco difundidos e lançar bases para estudos mais descriptivos e aprofundados posteriormente (Hernández Sampieri; Collado; Lucio, 2013).

Sendo assim, analisou-se documentos e regulamentações nacionais e internacionais referentes ao tema, como o texto, anexos e resoluções relacionados à *Convenção Internacional de Hong Kong para a Reciclagem Segura e Ambientalmente Adequada de Navios*. Além disso, realizou-se uma busca por artigos com descriptores de pesquisa na base de dados ScienceDirect, contendo os nomes dos materiais perigosos em análise e os processos de reciclagem, gerenciamento e destinação final.

Os resultados das buscas foram compilados, analisados e sintetizados para, então, serem apresentados a seguir.

RESULTADOS

Durante o processo de desmantelamento/reciclagem de embarcações, os trabalhadores ficam sujeitos a diversos riscos ocupacionais em virtude do manejo das estruturas, como procedimentos de corte, manuseio e incineração. Além disso, esses procedimentos são responsáveis por liberar as substâncias tóxicas que podem ser inaladas e levar à contaminação desses trabalhadores.

O primeiro passo para o gerenciamento adequado dos resíduos é que a embarcação contenha um Inventário de Materiais Perigosos (IHM, do inglês *Inventory of Hazardous Materials*), conforme preconizado pela Convenção de Hong Kong aos seus signatários. A Resolução MEPC.379(80) apresenta as orientações para a listagem adequada de materiais perigosos tendo em vista mapear a presença destas substâncias desde o processo de construção da embarcação até seu desmantelamento após o fim de sua vida útil (IMO, 2023). Apesar disso, grande parte das embarcações atualmente encaminhadas para descomissionamento antecedem essas regulamentações e, portanto, não possuem um IHM, o que dificulta o trabalho das recicadoras e pode representar um grande risco ao meio ambiente, à segurança ocupacional e à saúde dos trabalhadores.

Após a limpeza e desmonte das estruturas da embarcação, os materiais devem ser separados em duas classes: materiais não perigosos, que serão encaminhados para reciclagem e reutilização, a exemplo da sucata ferrosa, polímeros, itens da casaria, entre outros; e materiais perigosos, que deverão ser acondicionados e temporariamente armazenados, para então serem encaminhados para sua destinação final, que consiste, principalmente, em incineração e depósito em aterros industriais específicos para esse tipo de material.

A seguir são apresentadas algumas considerações voltadas aos resíduos sólidos de materiais perigosos oriundos do processo de reciclagem de uma embarcação.

Amianto

Amianto, ou asbestos, é uma fibra composta por seis minerais pertencentes aos grupos das serpentinhas e dos anfibólios. Seu uso foi amplamente disseminado em embarcações, especialmente, pelo seu desempenho como isolante térmico e em revestimentos, devido à sua elevada resistência química, durabilidade e propriedades isolantes (Girard, 2013).

Em embarcações descomissionadas, o amianto pode ser encontrado em diversos componentes, como revestimentos, cabos, juntas de conexão de tubos, além de estruturas como tetos, pisos e paredes, especialmente nas áreas de alojamento, cozinha e refeitório (Du *et al.*, 2018).

Grande parte das embarcações encaminhadas às instalações de reciclagem contém amianto do tipo amosite, pertencente ao grupo dos anfibólios, amplamente utilizado nas décadas de 1960 e 1970. Esse tipo de amianto é considerado o mais perigoso à saúde humana, em razão de sua morfologia, caracterizada por fibras retilíneas e em forma de agulhas, que podem penetrar com facilidade no sistema respiratório (Girard, 2013).

O uso prolongado de amianto em embarcações oferece consequências significativas tanto para o meio ambiente quanto para a saúde humana. Durante a atividade de reciclagem naval, o manuseio inadequado do material, considerado um dos poluentes atmosféricos mais perigosos, pode liberar fibras extremamente finas no ar, que podem ser facilmente inaladas pelos trabalhadores. Além disso, essas fibras podem se depositar no solo e atingir ambientes marinhos, contribuindo para a contaminação dos oceanos (Du *et al.*, 2018).

A exposição ao amianto pode causar danos severos à saúde a longo prazo, como asbestose (fibrose pulmonar), mesotelioma (câncer no revestimento pleural) e câncer de pulmão. Esses riscos são agravados pelo fato de muitos trabalhadores não utilizarem equipamentos de proteção individual (EPIs) durante as atividades de reciclagem naval (Du *et al.*, 2018).

Em dezembro de 2000, a Organização Marítima Internacional (IMO) aprovou emendas à Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS), reconhecendo oficialmente os riscos à saúde representados pelo amianto para tripulações e demais pessoas a bordo. Tais emendas entraram em vigor em 2002, estabelecendo restrições progressivas ao uso do material em embarcações. A partir de 1º de janeiro de 2011, passou a ser proibida a presença de qualquer tipo de amianto em navios cuja construção tenha sido iniciada após essa data (IMO, 2002).

Algumas medidas podem ser adotadas com o objetivo de mitigar os impactos ambientais e à saúde causados pelos resíduos de amianto presentes em embarcações. Antes do início do processo de reciclagem naval, é fundamental que todo amianto seja removido da embarcação de forma segura. Para isso, podem ser implementadas as seguintes práticas (Du et al., 2018):

- | contratação de profissionais qualificados e treinados para o manuseio de resíduos perigosos;
- | utilização de equipamentos de proteção individual (EPIs) adequados e instrumentos específicos para manipulação e remoção segura do amianto;
- | instalação de salas dedicadas especialmente para armazenamento das ferramentas e EPIs;
- | durante os procedimentos para remoção do amianto, recomenda-se umedecer previamente os materiais contendo amianto, especialmente antes do corte, a fim de reduzir a dispersão de fibras no ar;
- | os resíduos devem ser acondicionados em embalagens devidamente identificadas e umedecidas, e encaminhados para centros de tratamentos certificados, garantindo sua destinação final adequada e em conformidades com as normas vigentes.

Retardantes de chama

Uma série de substâncias são utilizadas com a finalidade de conter chamas e evitar incêndios em uma embarcação, e são denominadas retardantes de chamas. Dentre as mais preocupantes, encontram-se as bifenilas policloradas (PCBs, do inglês *polychlorinated biphenyls*) e seus similares bifenilas polibromadas (PBBs) e éter difenilas polibromadas (PBDEs).

As PCBs são misturas de compostos orgânicos contendo a mesma estrutura química básica e propriedades físico-químicas semelhantes, sendo elas alta estabilidade, altos pontos de ebulição, além de atuarem como bons isolantes elétricos e não serem inflamáveis. Podem ser encontradas como líquidos espessos ou como sólido escuro e ceroso (Du et al., 2018). Estas propriedades justificam seu uso extensivo na indústria naval como fluidos isolantes em transformadores e capacitores, mas também em suportes de borracha, plásticos isolantes, cabeamento elétrico, fitas e adesivos, mangueiras e juntas de borracha, dentre outros (IMO, 2023).

Já as PBBs foram produzidas por processos e com finalidades semelhantes às das PCBs como uma alternativa a partir do momento que o uso destas últimas foi proibido. Desse modo, as PBBs possuem propriedades e aplicações similares às PCBs, exceto pelo fato de que, historicamente, sua produção foi limitada. Sendo assim, podem ser encontradas, principalmente, em termoplásticos utilizados em equipamentos eletrônicos, como aparelhos de televisão, conectores elétricos, circuitos e projetores (Pieroni; Leonel; Fillmann, 2017).

Por sua vez, as PBDEs, apesar de uma composição química ligeiramente diferente das PCBs e PBBs, apresentam propriedades muito semelhantes e também foram extensamente aplicadas visando a contenção de chamas e a proteção de equipamentos eletroeletrônicos. Assim como PBBs, as PBDEs foram largamente empregadas no isolamento de fios e plásticos não inflamáveis, bem como na fabricação de espumas de poliuretano e acrilonitrila butadieno estireno (ABS) aplicadas em revestimentos plásticos, além de equipamentos elétricos de uso corriqueiro, como máquinas de lavar e secadoras de roupa (Pieroni; Leonel; Fillmann, 2017; IMO, 2023).

As PCBs, PBBs e PBDEs são considerados Poluentes Orgânicos Persistentes, em função de suas propriedades, como baixa solubilidade em água e alta permeabilidade por meios orgânicos, estes compostos contaminam águas, solos e ar, além de se acumularem no tecido adiposo de animais. Portanto, são bioacumulados e biomagnificados, ou seja, atingem os diferentes níveis tróficos das cadeias alimentares e afetam diversas espécies, incluindo os seres humanos. A estabilidade intrínseca desses materiais e sua resistência à degradação contribui para sua permanência no ambiente e sua disseminação pelos ecossistemas. A acumulação de PCBs, PBBs e PBDEs em organismos está associada a incidência de diversos tipos de câncer, doenças neurodegenerativas, disruptão do sistema endócrino e alterações reprodutivas (Du *et al.*, 2018; Pieroni; Leonel; Fillmann, 2017).

No que concerne aos materiais contendo essas substâncias, além dos procedimentos padrão relacionados ao uso de EPIs, contratação de pessoal qualificado e treinamento adequado, os resíduos sólidos são comumente cortados a frio e incinerados, tomando o devido cuidado de separar os resíduos de retardantes de chamas dos demais tipos de resíduos e jamais deixá-los no local em que foram desmantelados por muito tempo. Suas cinzas, após resfriamento, são armazenadas em sacos plásticos com material absorvente, como serragem, ou em tambores de aço, sendo essencial a devida rotulagem das embalagens com a identificação e características do conteúdo e sinal de aviso de material perigoso. Finalmente, esses resíduos devem ser transportados por empresas certificadas no manuseio de materiais perigosos e encaminhados a aterros industriais (Du *et al.*, 2018; Brasil, 2022).

Tintas anti-incrustantes e metais tóxicos

Além dos resíduos citados anteriormente, outros resíduos sólidos perigosos são encontrados em embarcações e requerem um gerenciamento adequado. Dentre essas, destacam-se as tintas anti-incrustantes, amplamente aplicadas nos cascos de navios a fim de protegê-los das bioincrustações. No entanto, essas tintas contêm compostos orgânicos e inorgânicos potencialmente tóxicos, como tributilestanho (TBT) e metais tóxicos, que representam riscos significativos à saúde humana e ao meio ambiente.

Os principais metais tóxicos presentes nas tintas anti-incrustantes incluem cádmio, cromo e chumbo. Além desses, o mercúrio também pode ser encontrado em outros equipamentos presentes em embarcações (IMO, 2023). Esses elementos são amplamente reconhecidos por sua elevada toxicidade, além da capacidade de bioacumulação nos organismos e biomagnificação ao longo da cadeia alimentar. Como consequência, podem causar diversos efeitos adversos à saúde humana e provocar impactos significativos ao meio ambiente, especialmente por contaminação de corpos hídricos (Girard, 2013).

Além de tintas, os metais tóxicos podem estar presentes em outros equipamentos em uma embarcação a ser reciclada. O cádmio, por exemplo, pode ser encontrado em baterias, filmes de revestimento e rolamentos; o chumbo é utilizado em motores, geradores e revestimentos; o cromo pode estar presente em revestimentos de filmes; e o mercúrio em detectores de incêndio, baterias recarregáveis e dispositivos elétricos (IMO, 2023).

A exposição prolongada a metais tóxicos pode comprometer gravemente a saúde humana, afetando o sistema nervoso periférico, além de causar disfunções na audição, visão, rins, coração e sistema reprodutivo. Em exposições mais severas ou crônicas, esses metais também estão associados ao desenvolvimento de câncer, podendo inclusive levar à morte (Du *et al.*, 2018).

Dentre os compostos orgânicos, destaca-se o TBT, amplamente empregado em tintas anti-incrustantes devido a sua grande eficiência e durabilidade. Todavia, mesmo em baixas concentrações o TBT apresenta muitos efeitos adversos. O efeito mais estudado é o Imposex, que é o aparecimento de caracteres sexuais masculinos em fêmeas de gastrópodes. Além disso, o consumo de peixes contaminados representa uma ameaça real aos humanos (Sternberg *et al.*, 2009).

Devido à grande toxicidade, a Organização Marítima Internacional determinou a proibição de novas aplicações de tintas anti-incrustantes contendo tributilestanho em embarcações a partir de 2003 e a remoção e substituição de todos os revestimentos de embarcações contendo TBT no mundo todo até 2008 (IMO, 2023).

A fim de proteger a saúde e a segurança e prevenir a poluição ambiental nas instalações de reciclagem de navios, o tributilestanho entra na lista de materiais perigosos. Dessa forma, esse composto precisa estar presente no IHM para que as instalações de reciclagem de navios consigam identificar e gerenciar os resíduos de tintas anti-vegetativas (IMO, 2023).

O gerenciamento desses resíduos exige a adoção de etapas rigorosas, com o objetivo de mitigar os efeitos nocivos ao meio ambiente e à saúde humana. A primeira etapa consiste na remoção das lascas de tinta, conhecidas como *paint chips*,

que devem ser retiradas do casco da embarcação antes do corte da estrutura. Isso deve-se ao fato de que o corte é geralmente realizado com maçaricos (oxi-corte) atingindo elevadas temperaturas fazendo com que os elementos estejam presentes na forma de vapor, partículas metálicas e compostos tóxicos para a atmosfera (Du et al., 2018).

Após a remoção, os resíduos de tinta devem ser enviados para incineração em instalações adequadas. Esse processo deve ocorrer em espaços controlados, com a utilização de ferramentas que evitem a liberação de poluentes atmosféricos, certificando a destruição segura das substâncias perigosas presentes nos resíduos. Esse processo não evita apenas a contaminação do solo e das águas, mas também atende às exigências de regulamentações vigentes (Girard, 2013).

CONCLUSÕES

Diante da crescente demanda pela reciclagem de ativos marítimos, como embarcações e plataformas, este estudo buscou evidenciar que os materiais perigosos presentes nessas estruturas representam um dos maiores desafios para a sustentabilidade dos processos de reciclagem naval. Sua natureza química e complexa dificulta o manejo adequado, e a falta de transparência sobre sua distribuição e quantidade nos navios reforça a necessidade de se atender às exigências da Convenção de Hong Kong e o primeiro passo para tal é a adoção dos Inventários de Materiais Perigosos em cada embarcação, desde o planejamento para sua construção até sua destinação final após o desmantelamento.

Os impactos ambientais e à saúde associados ao descarte indevido de substâncias tóxicas, como o amianto, as PCBs e os metais tóxicos, reforçam a urgência dessa problemática. A análise da literatura também indicou que, apesar das normativas como as da Convenção de Hong Kong, a aplicação dessas diretrizes ainda enfrenta obstáculos práticos e políticos, especialmente em países em desenvolvimento.

Neste contexto, alinhar as práticas de reciclagem aos princípios da economia azul e de práticas mais sustentáveis torna-se imprescindível para o manejo adequado de embarcações ao fim de sua vida útil. Promover o gerenciamento seguro destes e de outros materiais perigosos é, portanto, não apenas uma questão de conformidade às normativas, mas um compromisso com o futuro dos oceanos e da humanidade e com a construção de cadeias produtivas mais sustentáveis no setor marítimo.

Assim, com o presente estudo caracterizou-se os principais resíduos perigosos sólidos que podem emergir do processo de reciclagem naval em termos de materiais em que são encontrados e os impactos ambientais e à saúde associados a eles. Além disso, foram levantadas práticas de gerenciamento relatadas na literatura atual e recomendadas pelas normativas internacionais, visando orientar processos mais seguros e ambientalmente adequados de descomissionamento.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. **Manual de Gestão de PCB para equipamentos elétricos:detentores e destinadores.** Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2022.
- DU, Z. et al. Hazardous materials analysis and disposal procedures during ship recycling. **Resources, Conservation and Recycling.** v. 131, p. 158–171, 2018.
- GIRARD, J., E. **Princípios de Química Ambiental.** 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, R.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. del P. B. **Metodologia de Pesquisa.** 5.ed. Porto Alegre: Penso, 2013.
- IMO. INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. **MSC/Circ.1045 – Guidelines for maintenance and monitoring of on-board materials containing asbestos.** 2002.
- IMO. INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. **Hong Kong International Convention for the Safe and Environmentally Sound Recycling of Ships.** 2009.
- IMO. INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. **Resolution MEPC.379(80).** 2023.
- LIN, L. et al. Hazardous waste from the global shipbreaking industry: Historical inventory and future pathways. **Global Environmental Change.** v. 76, p. 102581, 2022.
- PIERONI, M. C.; LEONEL, J.; FILLMANN, G. Retardantes de chama bromados: uma revisão. **Química Nova,** v. 40, n. 3, p. 317–326, 2017.
- STERNBERG, R. et al. Environmental-endocrine control of reproductive maturation in gastropods: Implications for the mechanism of tributyltin-induced imposex in prosobranchs. **Ecotoxicology (London, England),** v. 19, p. 4–23, 2009.