

VIII ENCONTRO VIRTUAL DO CONPEDI

DIREITO, GOVERNANÇA E NOVAS TECNOLOGIAS I

Todos os direitos reservados e protegidos. Nenhuma parte destes anais poderá ser reproduzida ou transmitida sejam quais forem os meios empregados sem prévia autorização dos editores.

Diretoria - CONPEDI

Presidente - Profa. Dra. Samyra Haydêe Dal Farra Naspolini - FMU - São Paulo

Diretor Executivo - Prof. Dr. Orides Mezzaroba - UFSC - Santa Catarina

Vice-presidente Norte - Prof. Dr. Jean Carlos Dias - Cesupa - Pará

Vice-presidente Centro-Oeste - Prof. Dr. José Querino Tavares Neto - UFG - Goiás

Vice-presidente Sul - Prof. Dr. Leonel Severo Rocha - Unisinos - Rio Grande do Sul

Vice-presidente Sudeste - Profa. Dra. Rosângela Lunardelli Cavallazzi - UFRJ/PUCRio - Rio de Janeiro

Vice-presidente Nordeste - Prof. Dr. Raymundo Juliano Feitosa - UNICAP - Pernambuco

Representante Discente: Prof. Dr. Abner da Silva Jaques - UPM/UNIGRAN - Mato Grosso do Sul

Conselho Fiscal:

Prof. Dr. José Filomeno de Moraes Filho - UFMA - Maranhão

Prof. Dr. Caio Augusto Souza Lara - SKEMA/ESDHC/UFMG - Minas Gerais

Prof. Dr. Valter Moura do Carmo - UFERSA - Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Fernando Passos - UNIARA - São Paulo

Prof. Dr. Edinilson Donisete Machado - UNIVEM/UENP - São Paulo

Secretarias

Relações Institucionais:

Prof. Dra. Claudia Maria Barbosa - PUCPR - Paraná

Prof. Dr. Heron José de Santana Gordilho - UFBA - Bahia

Profa. Dra. Daniela Marques de Moraes - UNB - Distrito Federal

Comunicação:

Prof. Dr. Robison Tramontina - UNOESC - Santa Catarina

Prof. Dr. Liton Lanes Pilau Sobrinho - UPF/Univali - Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Lucas Gonçalves da Silva - UFS - Sergipe

Relações Internacionais para o Continente Americano:

Prof. Dr. Jerônimo Siqueira Tybusch - UFSM - Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Paulo Roberto Barbosa Ramos - UFMA - Maranhão

Prof. Dr. Felipe Chiarello de Souza Pinto - UPM - São Paulo

Relações Internacionais para os demais Continentes:

Profa. Dra. Gina Vidal Marcilio Pompeu - UNIFOR - Ceará

Profa. Dra. Sandra Regina Martini - UNIRITTER / UFRGS - Rio Grande do Sul

Profa. Dra. Maria Claudia da Silva Antunes de Souza - UNIVALI - Santa Catarina

Educação Jurídica

Profa. Dra. Viviane Coêlho de Séllos Knoerr - Unicuritiba - PR

Prof. Dr. Rubens Beçak - USP - SP

Profa. Dra. Livia Gaigher Bosio Campello - UFMS - MS

Eventos:

Prof. Dr. Yuri Nathan da Costa Lannes - FDF - São Paulo

Profa. Dra. Norma Sueli Padilha - UFSC - Santa Catarina

Prof. Dr. Juraci Mourão Lopes Filho - UNICHRISTUS - Ceará

Comissão Especial

Prof. Dr. João Marcelo de Lima Assafim - UFRJ - RJ

Profa. Dra. Maria Creusa De Araújo Borges - UFPB - PB

Prof. Dr. Antônio Carlos Diniz Murta - Fumec - MG

Prof. Dr. Rogério Borba - UNIFACVEST - SC

D597

Direito, governança e novas tecnologias I [Recurso eletrônico on-line] organização CONPEDI

Coordenadores: Caio Augusto Souza Lara; Claudia Maria Da Silva Bezerra; José Carlos Francisco dos Santos. – Florianópolis: CONPEDI, 2025.

Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-5274-160-8

Modo de acesso: www.conpedi.org.br em publicações

Tema: Direito Governança e Políticas de Inclusão

1. Direito – Estudo e ensino (Pós-graduação) – Encontros Nacionais. 2. Direito. 3. Governança e novas tecnologias. VIII Encontro Virtual do CONPEDI (2; 2025; Florianópolis, Brasil).

CDU: 34



VIII ENCONTRO VIRTUAL DO CONPEDI

DIREITO, GOVERNANÇA E NOVAS TECNOLOGIAS I

Apresentação

DIREITO, GOVERNANÇA E NOVAS TECNOLOGIAS I

Os artigos contidos nesta publicação foram apresentados no Grupo de Trabalho Direito, Governança e Novas Tecnologias I durante o VIII Encontro Virtual do Conselho Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Direito - CONPEDI, realizado nos dias 24 a 28 de junho de 2025, sob o tema geral “Direito, Governança e Políticas de Inclusão”. Trata-se da oitava experiência de encontro virtual do CONPEDI em mais de três décadas de existência.

A apresentação dos trabalhos abriu caminho para uma importante discussão, em que os pesquisadores do Direito puderam interagir em torno de questões teóricas e práticas, levando-se em consideração a temática central grupo. Essa temática traz consigo os desafios que as diversas linhas de pesquisa jurídica enfrentam no tocante ao estudo dos referenciais teóricos do tema governança e seus impactos no universo tecnológico.

A publicação reúne pesquisas que exploram os impactos jurídicos, éticos e sociais da inteligência artificial e das tecnologias digitais sobre o Estado Democrático de Direito, com foco especial na proteção de direitos fundamentais. As discussões abrangem temas como o uso de IA na Defensoria Pública e na dosimetria da pena, o risco de vieses algorítmicos no policiamento preditivo, e os limites constitucionais da automação decisória. Também são abordadas as responsabilidades civis dos agentes de IA, a regulação do mercado de criptoativos, a proteção de dados sensíveis (como prontuários médicos), e a necessidade urgente de regulamentar ilícitos eleitorais e obras autorais geradas por IA. A interseção entre transparência, governança algorítmica e acesso à justiça é outro eixo central, com reflexões

tecnologia, com base em autores como Douglas Rushkoff, e sugere caminhos para um novo paradigma regulatório que una inovação, equidade, sustentabilidade e respeito aos direitos humanos.

Na coletânea que agora vem a público, encontram-se os resultados de pesquisas desenvolvidas em diversos Programas de Pós-graduação em Direito, nos níveis de Mestrado e Doutorado, com artigos rigorosamente selecionados, por meio de dupla avaliação cega por pares (double blind peer review). Dessa forma, todos os artigos ora publicados guardam sintonia direta com este Grupo de Trabalho.

Agradecemos a todos os pesquisadores pela sua inestimável colaboração e desejamos uma ótima e proveitosa leitura!

Caio Augusto Souza Lara

Claudia Maria Da Silva Bezerra

José Carlos Francisco dos Santos

**IMPACTOS AMBIENTAIS DA ENERGIA NUCLEAR NO AMBIENTE MARINHO:
RESPONSABILIDADE JURÍDICA PELO DESCARTE DE RESÍDUOS**

**ENVIRONMENTAL IMPACTS OF NUCLEAR ENERGY ON THE MARINE
ENVIRONMENT: LEGAL LIABILITY FOR WASTE DISPOSAL**

Aretusa Fraga Costa ¹
Valdenio Mendes De Souza ²
Luciane Lemes Ferreira Peixoto ³

Resumo

A presente pesquisa analisa os impactos ambientais do descarte de resíduos radioativos no ambiente marinho à luz do Direito Ambiental Internacional, com ênfase na responsabilização jurídica de Estados e empresas. O objetivo é verificar a compatibilidade dessas práticas com os instrumentos jurídicos multilaterais vigentes, especialmente a Convenção de Londres de 1972 e a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, destacando os limites regulatórios, os mecanismos de responsabilização existentes e os desafios para a proteção ambiental internacional. A pesquisa adota uma abordagem qualitativa e exploratória, fundamentada em revisão bibliográfica nacional e estrangeira, análise documental de tratados internacionais, estudos técnicos sobre radioecologia marinha e com um estudo de caso referente ao desastre de Fukushima no Japão. Os resultados evidenciam que os mecanismos atuais são insuficientes para prevenir e responsabilizar práticas inadequadas de despejo de resíduos radioativos, o que compromete a biodiversidade e a segurança ambiental global. Conclui-se pela necessidade de reinterpretar os tratados existentes à luz dos princípios da precaução, da equidade intergeracional e da responsabilidade objetiva, bem como pela criação de novos instrumentos jurídicos e institucionais capazes de assegurar uma tutela ambiental mais efetiva diante dos riscos inerentes à atividade nuclear nos oceanos.

Palavras-chave: Biodiversidade, Direito internacional, Energia nuclear, Oceano, Resíduos radioativos

Abstract/Resumen/Résumé

liability of States and companies. The objective is to verify the compatibility of these practices with current multilateral legal instruments, especially the 1972 London Convention and the United Nations Convention on the Law of the Sea, highlighting regulatory limits, existing accountability mechanisms and challenges for international environmental protection. The research adopts a qualitative and exploratory approach, based on national and international bibliographic review, documentary analysis of international treaties, technical studies on marine radioecology and a case study on the Fukushima disaster in Japan. The results show that current mechanisms are insufficient to prevent and hold accountable inappropriate radioactive waste dumping practices, which compromise biodiversity and global environmental security. It is concluded that there is a need to reinterpret existing treaties in light of the precautionary principles, intergenerational equity and objective liability, as well as the creation of new legal and institutional instruments capable of ensuring more effective environmental protection in the face of the risks inherent to nuclear activity in the oceans.

Keywords/Palabras-claves/Mots-clés: Biodiversity, International law, Nuclear energy, Ocean, Radioactive waste

1 INTRODUÇÃO

O aumento da dependência da energia nuclear como fonte de energia e tecnologia suscita questões significativas sobre os efeitos ambientais decorrentes do descarte de resíduos radioativos, especialmente no meio marinho. Esta situação se torna mais séria ao perceber que grandes quantidades de resíduos nucleares têm sido despejados nos oceanos e áreas costeiras, tanto acidentalmente quanto intencionalmente, com base em razões técnicas, econômicas ou militares.

Portanto, esta pesquisa examina a conformidade dessa prática com os princípios e regras do Direito Ambiental Marinho, numa perspectiva internacional, particularmente no que diz respeito à responsabilidade legal de Estados e corporações que contribuem para a deterioração dos ecossistemas marinhos.

No âmbito jurídico, mesmo com a existência de tratados multilaterais como a Convenção de Londres de 1972, persiste um vazio normativo e operacional em relação à supervisão e penalização de condutas danosas. Isso destaca a necessidade de atualizar ou reavaliar os padrões normativos vigentes.

De acordo o exposto, esse estudo apresenta a seguinte questão-problema: As práticas de descarte de resíduos nucleares no ambiente marinho estão em conformidade com os instrumentos jurídicos multilaterais vigentes, como a Convenção de Londres de 1972 e a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, no que tange à responsabilização jurídica e à proteção ambiental?

A pesquisa tem como objetivo analisar a compatibilidade das práticas de descarte de resíduos nucleares no ambiente marinho com os instrumentos jurídicos multilaterais vigentes, especialmente a Convenção de Londres de 1972 e a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, destacando os limites regulatórios, os mecanismos de responsabilização existentes e os desafios para a efetiva proteção ambiental internacional.

Com base nessa estrutura analítica, a hipótese central do estudo é que as atuais regras legais para o descarte de resíduos nucleares no meio marinho não são adequadas para garantir a proteção eficaz dos ecossistemas marinhos e a responsabilização legal dos responsáveis. Supõe-se também que a ausência de mecanismos de controle e de uma cooperação internacional robusta favorece a continuidade de práticas prejudiciais sob a fachada de legalidade técnico-regulatória.

Ademais, argumenta-se que o sistema legal internacional vigente, por não possuir mecanismos eficientes de prevenção e punição, intensifica a disparidade ambiental entre

países emissores e países costeiros impactados, enfraquecendo o princípio da igualdade entre gerações e colocando em risco o equilíbrio marinho mundial. Portanto, o estudo contesta a ideia de que a Convenção de Londres é suficiente normativamente e sugere sua reinterpretação com base nos princípios constitucionais do Direito Ambiental Atual e nos compromissos assumidos na Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU).

A metodologia utilizada é de natureza qualitativa, exploratória e descritiva, baseada em revisão bibliográfica e documental de fontes acadêmicas, jurídicas e técnico-científicas. Também foram analisados tratados internacionais, pareceres jurídicos, relatórios técnicos da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA). A abordagem busca estabelecer um diálogo crítico entre os impactos ambientais detectados e os dispositivos jurídicos existentes.

Este estudo se baseia em uma análise teórica interdisciplinar, indutiva, fundamentada nos princípios do Direito Ambiental Internacional e da Radioecologia, interagindo com os princípios de precaução, prevenção, responsabilidade ecológica e com um estudo de caso referente ao desastre de Fukushima no Japão. A pesquisa também utiliza a Convenção de Londres de 1972 e seus protocolos complementares como base normativa, com o objetivo de examinar sua eficácia legal frente aos desafios contemporâneos impostos pelo progresso da energia nuclear e pelo uso constante do mar como local de descarte de resíduos radioativos.

O trabalho será estruturado em quatro partes. A primeira parte é dedicada à "Introdução". Em seguida, o referencial teórico, intitulado "Impactos Ambientais da Energia Nuclear nos Ecossistemas Marinhos: Marco Normativo Internacional, Governança e Danos Ambientais", será dividido em três subseções. A primeira subseção aborda "O Marco Jurídico Internacional do Descarte de Resíduos Nucleares no Mar", seguida pela segunda, que trata da "Responsabilidade Jurídica Internacional por Danos Ambientais Marinhos", e, por fim, a terceira subseção, intitulada "Desafios e Propostas para o Fortalecimento da Governança Ambiental Marinha".

A terceira parte será dedicada aos "Estudos de Caso: Análise e Reflexão", apresentando o caso referente ao desastre de Fukushima no Japão em 2011, para aprofundar a compreensão sobre os impactos e a gestão desses resíduos. Por último, a seção "Considerações Finais" sintetizará os principais pontos discutidos ao longo da pesquisa, além de apresentar sugestões para avanços no campo da governança e da responsabilidade jurídica em relação ao descarte de resíduos nucleares no ambiente marinho.

2 IMPACTOS AMBIENTAIS DA ENERGIA NUCLEAR NOS ECOSISTEMAS MARINHOS: MARCO NORMATIVO INTERNACIONAL, GOVERNANÇA E DANOS AMBIENTAIS

Historicamente, os ecossistemas marinhos têm servido como destino final para resíduos industriais, incluindo aqueles provenientes da produção e uso de energia nuclear. Apesar das advertências ambientais, o descarte de radionuclídeos no oceano - seja por meio de incidentes, despejo controlado ou vazamentos sistemáticos - persiste como um desafio mundial. A alta capacidade de diluição do oceano tem sido usada como justificativa técnica para tais práticas, no entanto, essa visão não leva em conta a persistência, acumulação biogenética e efeitos mutagênicos de vários radioisótopos nos seres marinhos, impactando a biodiversidade, os ciclos ecológicos e os serviços ambientais fornecidos pelo oceano (Silva, 2019).

Pesquisas, como a realizada por Buzea *et al.* (2007), evidenciam que nanopartículas e radionuclídeos lançados no meio aquático possuem características físico-químicas que podem modificar de maneira significativa o equilíbrio ecológico marinho. Ao entrarem em contato com o meio líquido, essas partículas interagem com sedimentos e organismos filtrantes, sendo transportadas ao longo da cadeia alimentar, o que pode resultar em efeitos negativos ainda pouco entendidos a longo prazo. A existência de isótopos como tecnécio-99, estrôncio-90 e cério-137, já comprovada em diversas regiões do mundo, demonstra que a questão vai além das fronteiras nacionais, necessitando de regulação e supervisão a nível global.

A literatura brasileira tem desempenhado um papel importante no progresso da radioecologia, conforme evidenciado nos estudos da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e nos estudos de Michele Maria da Silva (2019). Esses estudos indicam que os resíduos da medicina nuclear, mesmo em baixas quantidades, podem modificar a dinâmica geoquímica dos metais pesados nos sedimentos marinhos. Essas informações reforçam a ideia de que a liberação de resíduos radioativos, mesmo em quantidades aparentemente seguras, afeta o equilíbrio físico-químico e ecológico dos ecossistemas aquáticos (Silva, 2019).

Assim, um dos pontos centrais de discussão deste estudo é que os efeitos ambientais da energia nuclear no meio marinho não devem ser analisados apenas em termos de concentração e toxicidade imediata, mas também considerando sua persistência, mobilidade, sinergia com outros poluentes e a habilidade de acumular bioacumuladores. Isso requer a reformulação dos modelos tradicionais de avaliação de risco ambiental, incluindo variáveis

ecológicas e complexas interações bióticas, que vão além das análises físico-químicas convencionais (Jackson *et al.*, 2013).

Além disso, os impactos desses resíduos não se restringem apenas a organismos de pequeno porte ou áreas litorâneas. Jackson *et al.* (2013) comprovam que a bioacumulação de nanopartículas metálicas acontece em organismos de maior nível trófico, como moluscos e peixes, com a possibilidade de contaminação humana por meio da ingestão de alimentos contaminados. Esta descoberta atualiza e expande as pesquisas precedentes ao evidenciar que a cadeia trófica marinha não funciona como um obstáculo à radiação, mas como um meio de transmissão dos seus efeitos cumulativos.

A suposição de que a salinidade do oceano diluiria ou neutralizaria os efeitos radioativos também se revela inválida frente às provas empíricas. Chen *et al.* (1997) e Batley *et al.* (2013) indicam que, em diversas circunstâncias, os resíduos se unem a partículas coloidais e orgânicas, mantendo-se ativos e acessíveis para processos de absorção e interação com seres vivos. Portanto, a ideia de que o oceano seria um destino final "seguro" para resíduos radioativos deve ser contestada à luz do atual estágio da ciência.

Uma das contribuições teóricas deste estudo é sugerir uma perspectiva unificada entre radioecologia e direito ambiental Marítimo, considerando os radionuclídeos como poluentes orgânicos persistentes (POPs). Isso possibilitaria a sua inclusão em sistemas jurídicos mais rigorosos (Lee *et al.*, 2009). Esta reformulação conceitual visa preencher as brechas regulatórias que ainda permitem a liberação controlada de certos radionuclídeos nos oceanos, baseada em critérios de segurança obsoletos.

Com base nesse entendimento, argumenta-se que os países que incentivam ou permitem a eliminação de resíduos radioativos nos oceanos devem ser responsabilizados internacionalmente pelos prejuízos causados à biodiversidade marinha, mesmo que esses efeitos apareçam anos após a liberação. Esta proposta altera as fronteiras convencionais da responsabilidade ambiental, mudando o foco do evento danoso imediato para as consequências de longo prazo e de difícil quantificação (Lee *et al.*, 2009).

Assim, ao coletar provas científicas tanto nacionais quanto internacionais, este estudo sustenta a suposição de que os resíduos radioativos constituem uma ameaça constante e sem fronteiras para os ecossistemas marinhos. Simultaneamente, fornece uma fundamentação teórica e empírica para reavaliar os conceitos de risco ambiental, responsabilidade global e governança ecológica, com o objetivo de reforçar os mecanismos legais de prevenção e compensação frente a uma das formas mais silenciosas, persistentes e injustas de poluição do planeta (Silva, 2019).

2.1 O MARCO JURÍDICO INTERNACIONAL DO DESCARTE DE RESÍDUOS NUCLEARES NO MAR

A partir da segunda metade do século XX, houve um significativo progresso na regulamentação do ambiente marinho, impulsionado pelo crescimento da deterioração dos oceanos devido a atividades industriais, militares e energéticas. Neste cenário, a Convenção de Londres de 1972 se sobressai como uma das principais ferramentas multilaterais destinadas a prevenir a poluição marinha causada pelo descarte de resíduos. Esta convenção foi criada sob a orientação da Organização Marítima Internacional (OMI) e manifesta um alerta sobre o descarte intencional de resíduos no oceano, incluindo materiais radioativos (Brasil, 1982).

No entanto, durante suas quatro décadas de existência, a Convenção de Londres de 1972 passou por alterações significativas que, apesar de expandirem seu âmbito, deixaram lacunas significativas no que diz respeito ao descarte de resíduos nucleares (Brasil, 1982). A alteração de 1993 vetou a liberação de resíduos radioativos no mar, contudo, a versão final do tratado não especifica claramente a manipulação indireta, vazamentos acidentais ou atividades subaquáticas que levam a uma contaminação generalizada. Conforme ressaltado por Nowack e Bucheli (2007), a falta de regulamentos específicos para nanopartículas e radionuclídeos de longo prazo contribui para a vulnerabilidade da regulamentação.

Por outro lado, a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM), de 1982, define, em seu artigo 192, o dever universal dos Estados de salvaguardar e conservar o ambiente marinho. Contudo, essa norma é abstrata e não possui mecanismos de coação ou responsabilização específicas, o que prejudica sua eficácia em cenários onde o prejuízo é consequência de uma ação ou inação do Estado (Brasil, 1982). Neste ponto, fica clara a necessidade de reinterpretar a CNUDM com base no princípio da precaução, conforme abordado por Handy *et al.* (2008), especialmente no que diz respeito aos riscos invisíveis e cumulativos dos resíduos radioativos.

A literatura jurídica tem notado que o Direito Internacional Ambiental funciona sob uma estrutura de governança fragmentada, com escassa conexão entre os vários tratados e convenções aplicáveis. Isso possibilita que os Estados se isentem da responsabilidade ambiental com base em lacunas legais ou na falta de obrigações específicas em tratados regionais. Para enfatizar, existem poucos tratados internacionais que estabelecem responsabilidades claras em relação ao descarte de resíduos provenientes de submarinos

nucleares aposentados, o que resulta em zonas de invisibilidade legal em regiões marítimas vitais (Nowack; Bucheli, 2007).

A problemática dos resíduos radioativos nos mares também enfrenta desafios na supervisão. Embora a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) defina normas técnicas para a segurança no manuseio de materiais nucleares, essas normas não têm validade obrigatória no cenário internacional, a não ser que sejam incorporadas por tratados internacionais. De acordo com Ladeira *et al.* (2014), o sistema vigente é técnico, porém não coercitivo, o que implica que muitos atos potencialmente prejudiciais não estão sujeitos à responsabilização formal. Isso requer uma nova estrutura normativa que combine o conhecimento técnico-científico com a penalidade jurídica.

Outra restrição significativa do sistema jurídico internacional é a ênfase limitada nos Estados, desconsiderando a crescente participação das empresas privadas, especialmente no segmento de transporte e armazenamento de resíduos nucleares. Ainda são escassos os instrumentos legais que estipulam a responsabilidade direta das empresas por danos ao ambiente marinho (Inoue *et al.*, 2009). Portanto, este estudo defende a ideia de que o direito ambiental internacional deve progredir para um modelo de responsabilidade mista, que inclua tanto entidades públicas quanto privadas na salvaguarda do meio marinho.

Mesmo com as restrições mencionadas, é necessário reconhecer os progressos normativos que solidificaram princípios essenciais como o do poluidor-pagador, da responsabilidade objetiva e da colaboração internacional. Embora frequentemente programáticos, esses princípios oferecem um sólido alicerce jurídico para a interpretação evolutiva dos tratados. Por exemplo, a Convenção de Londres de 1972, em suas orientações técnicas, já permite a inclusão de novos materiais na lista de substâncias proibidas com base em evidências científicas emergentes, o que possibilita a regulamentação de nanopartículas e radionuclídeos emergentes (Brasil, 1982; Nowack; Bucheli, 2007).

Neste contexto, apresenta-se uma sugestão inovadora: a exigência de uma interpretação abrangente e sistemática dos tratados vigentes, como a CNUDM e a Convenção de Londres de 1972, a fim de que estes possam incluir os resíduos radioativos provenientes de fontes não convencionais, tais como laboratórios, hospitais e instalações de descomissionamento nuclear. Essa interpretação não vai de encontro ao texto legal, mas o atualiza com base nos princípios fundamentais do Direito Ambiental mundial, particularmente o da precaução (Brasil, 1982; Inoue *et al.*, 2009).

A falta de um tratado específico para resíduos radioativos no oceano oferece uma chance de estabelecer um novo sistema jurídico transnacional fundamentado em critérios de

risco e equidade ambiental. Essa visão não se limita a uma resposta normativa, mas também à implementação de mecanismos eficazes de colaboração, transparência, supervisão constante e penalidades proporcionais aos danos. Portanto, o diálogo entre direito e ciência deve ser constante e obrigatório, particularmente no que diz respeito à radioatividade, cujos impactos ultrapassam o período de validade de qualquer acordo (Ladeira *et al.*, 2014),

A atual estrutura do Marco Jurídico Internacional não consegue lidar com a complexidade e o perigo dos resíduos nucleares descartados no meio marinho. Embora a Convenção de Londres de 1972 e a CNUDM representem progressos históricos, é necessário expandir a profundidade normativa e institucional desses instrumentos para lidar com os riscos emergentes da era nuclear. Essa expansão não deve ser meramente textual, mas também hermenêutica, incorporando informações científicas como critério jurídico para a interpretação e implementação da norma ambiental internacional (Brasil, 1982; Nowack; Bucheli, 2007).

2.2 A RESPONSABILIDADE JURÍDICA INTERNACIONAL POR DANOS AMBIENTAIS MARINHOS

A responsabilidade jurídica global por danos ambientais em ecossistemas marinhos é um dos temas mais complexos do Direito Ambiental Contemporâneo. A poluição marinha por resíduos radioativos requer um modelo de responsabilidade que ultrapasse as barreiras territoriais e os prazos tradicionais, pois os efeitos provocados por radionuclídeos podem se estender por gerações e impactar nações inteiras sem notificação prévia. A falta de instrumentos de coação universais e a complexidade em estabelecer uma relação causal entre a ação e o dano tornam ainda mais desafiadora a implementação da responsabilidade internacional (Silva, 2019).

Conforme descrito por Fajardo *et al.* (2014) em pesquisas realizadas sobre a bioacumulação e a toxicidade de nanopartículas em organismos aquáticos, o Direito Internacional Ambiental, historicamente, tem se fundamentado em três principais modelos de responsabilidade: a responsabilidade por ato ilícito (culpa ou dolo), a responsabilidade objetiva (independente de culpa) e a responsabilidade compartilhada entre agentes públicos e privados. Em relação aos resíduos radioativos descartados no oceano, prevalece a ideia de que o regime da responsabilidade objetiva deve ser aplicado, devido à alta periculosidade e à imprevisibilidade dos impactos dessas substâncias.

A implementação da responsabilidade objetiva resulta da implementação do princípio do risco integral, amplamente aceito em situações de atividades que apresentam riscos atípicos para a comunidade ou para o meio ambiente. Nesse contexto, a jurisprudência da Corte Internacional de Justiça (CIJ) tem progredido no entendimento de que a simples permissão para atividades potencialmente poluentes, sem um controle estrito ou ações preventivas, representa uma omissão significativa do Estado, resultando em responsabilidade internacional. Essas decisões reforçam a noção de que a negligência na gestão de resíduos nucleares pode resultar em responsabilidades reparadoras e compensatórias (Fajardo *et al.*, 2014).

Contudo, uma das maiores barreiras para a efetiva responsabilização dos agentes públicos e privados que descartam resíduos radioativos nos mares é a demonstração do vínculo causal. Isso ocorre porque os impactos das radiações ionizantes podem aparecer anos depois do descarte, em regiões diferentes das que foram inicialmente impactadas. Jackson *et al.* (2013) argumenta que a dinâmica das nanopartículas metálicas nos ecossistemas aquáticos é mutável e pode mudar de acordo com a temperatura, a salinidade e a presença de matéria orgânica, o que complica a identificação do poluente.

No entanto, a doutrina tem procurado respostas normativas para lidar com esse impasse. Uma medida é o uso de presunções legais de causalidade, particularmente em relação a materiais de longa durabilidade como o tecnécio-99 ou o estrôncio-90 (Jackson *et al.*, 2013). Com base em critérios científicos aceitos, essas suposições possibilitaram a inversão do ônus da prova, onde o Estado emissor ou a empresa responsável teriam que provar que o prejuízo não é resultado de sua ação. Esta proposta reforça não só o princípio da precaução, mas também está em consonância com o princípio do poluidor-pagador (Brasil, 1981).

Com base nesse raciocínio, este estudo sugere uma ideia inovadora: a formação de um fundo internacional compulsório de compensação ambiental, alimentado por contribuições proporcionais dos países que empregam energia nuclear. Esse fundo seria destinado ao financiamento de pesquisas, atividades de supervisão, remediação de regiões impactadas e compensação de comunidades afetadas por vazamentos ou descartes impróprios. A inspiração para esta sugestão provém de modelos como o Fundo de Compensação por Poluição por Hidrocarbonetos (IOPC Fund), que já foi aplicado com êxito no cenário de acidentes envolvendo petróleo (Baaousha *et al.*, 2011).

Além disso, é essencial incluir a responsabilidade corporativa no sistema internacional de legislação ambiental. No momento, as companhias que operam reatores, centrais nucleares,

navios ou submarinos nucleares raramente são diretamente responsáveis por danos ao meio ambiente. Isso acontece porque, tradicionalmente, o direito internacional só reconhece a personalidade jurídica dos Estados. No entanto, com base na teoria dos novos sujeitos ativos do direito global, proposta por autores como Philippe Sands e Daniel Bodansky, as grandes empresas devem ser incorporadas aos sistemas de responsabilidade ambiental, especialmente quando suas ações causam degradação ecológica além das fronteiras nacionais (Sands, 2012; Bodansky, 2010).

Outro aspecto importante é a reparação do dano. A legislação internacional é hesitante em estabelecer indenizações ambientais por danos ecológicos puros, isto é, aqueles que impactam diretamente a natureza, sem considerar danos econômicos ou humanos. A compensação por prejuízos ao mar, corais, cadeias alimentares ou à integridade genética de espécies ainda enfrenta resistência de tribunais arbitrais e entidades internacionais. No entanto, essa oposição vai de encontro ao progresso teórico da ecologia jurídica, que sustenta a natureza como titular de direitos e a reparação completa como base para a justiça ambiental (Sands, 2012; Bodansky, 2010).

De acordo com Fernandez *et al.*, (2014, p.1122), "o uso da energia nuclear, embora traga benefícios no curto prazo, gera resíduos cuja periculosidade pode durar milhares de anos, ultrapassando o tempo de vida útil de qualquer instituição humana". Portanto, os países que produzem ou guardam resíduos nucleares são responsáveis não só pelas consequências presentes, mas também pelas futuras, assumindo a responsabilidade de salvaguardar as futuras gerações, de acordo com o princípio da igualdade intergeracional estabelecido na Declaração do Rio de 1992 (ONU, 1992).

A responsabilidade internacional pelo descarte de resíduos radioativos no oceano exige o abandono das estratégias convencionais que se baseiam apenas em culpa e conexão direta. É preciso um novo modelo que incorpore os princípios da precaução, do risco total, da solidariedade ecológica e da justiça entre gerações, incentivando a responsabilidade de governos e corporações pelos riscos que causam, e não somente pelos prejuízos que causam. Apenas dessa forma será possível converter o discurso ambiental em uma tutela jurídica eficaz para o ambiente marinho (Silva, 2019).

2.3 DESAFIOS E PROPOSTAS PARA O FORTALECIMENTO DA GOVERNANÇA AMBIENTAL MARINHA

A governança ambiental marinha, frente aos resíduos radioativos resultantes da atividade nuclear, lida com desafios que ultrapassam a simples implementação de normas. Esses obstáculos são de ordem técnica, legal, política e institucional, e se evidenciam na dificuldade de prevenir, supervisionar e responsabilizar corretamente os agentes públicos e privados envolvidos no descarte desses detritos. Essa temática apresenta complexidade devido à longa meia-vida de diversos radionuclídeos, à natureza transfronteiriça do mar e à disparidade de habilidades entre os países para gerir os efeitos ambientais decorrentes (Fernandez *et al.*, 2014).

Um dos maiores desafios para uma governança eficaz é a ineficiência dos sistemas de supervisão transnacional. A maior parte das regulamentações vigentes se fundamenta na autodeclaração dos Estados sobre despejos e acidentes, sem a implementação de um sistema de verificação independente sólido. Conforme destacado por Farkas *et al.* (2010), a movimentação de radionuclídeos em ambientes marinhos é influenciada por variáveis extremamente voláteis, o que complica a rastreabilidade e, conseqüentemente, a implementação de ações corretivas efetivas. Esta insuficiência técnica prejudica o controle global e expõe o sistema a manipulações políticas e econômicas.

Além disso, a resistência de setores industriais e militares à transparência ambiental, particularmente em relação ao descomissionamento de reatores submarinos, usinas costeiras e embarcações movidas a energia nuclear, impede a formação de um banco de dados público que possa apoiar políticas ambientais eficazes (Blaser *et al.*, 2008). Portanto, sugere-se como proposta inovadora a criação de um Protocolo Internacional de Transparência Radioativa, ligado à ONU, que requer relatórios regulares e auditorias técnicas independentes.

Um desafio adicional é a ausência de uniformização das normas entre os países, o que cria lacunas legais exploradas por nações com menos rigor ambiental. O fenômeno conhecido como "*dumping* (desejo) radioativo jurídico" induz as empresas a operarem em áreas permissivas, onde a legislação é precária ou inexistente. Isso debilita o princípio da não regressividade ambiental e prejudica os esforços multilaterais. A solução proposta é reforçar os tratados regionais e estabelecer cláusulas de equivalência ambiental, impedindo que resíduos proibidos em um Estado sejam descartados de maneira legal em outro (Blaser *et al.*, 2008).

Em termos jurídicos, ainda existe resistência à implementação de instrumentos com efeito vinculante, especialmente em fóruns multilaterais onde os interesses geopolíticos dificultam acordos. A experiência com a Convenção de Londres de 1972 ilustra que, mesmo com os progressos técnicos, muitas de suas orientações continuam no âmbito da *soft law*

(direito brando) (Brasil, 1982; Becaro *et al.*, 2015). Portanto, é fundamental mudar para um sistema de legislação ambiental rigorosa, com penalidades claras, prazos estabelecidos e responsabilidades globais, seguindo o modelo já adotado em convenções como a de Montreal sobre substâncias que danificam a camada de ozônio.

A literatura especializada também ressalta a importância de fomentar a interdisciplinaridade na gestão ambiental, unindo conhecimentos do direito, das ciências ambientais e das tecnologias nucleares. Conforme descrevem Chen *et al.* (1997) e Batley *et al.* (2013), existem métodos técnicos para a remoção ou contenção de radionuclídeos, porém sua aplicação encontra obstáculos na ausência de regulamentação e apoio do governo. Portanto, sugere-se a formação de centros globais de pesquisa aplicada em descontaminação marinha, financiados internacionalmente pelos países que empregam energia nuclear.

Outro desafio igualmente significativo é a justiça ambiental e a igualdade entre gerações. Comunidades costeiras tradicionais, comunidades ribeirinhas e ilhas-nação são comumente as mais impactadas pelos efeitos acumulados da radiação, mesmo sem terem contribuído para sua origem (Blaser *et al.*, 2008). Além de serem negligenciadas nas negociações internacionais, essas populações não possuem mecanismos eficazes de reparação. Assim, torna-se necessário integrar a visão dos direitos humanos à gestão ambiental, reconhecendo o direito à integridade ecológica como um componente dos direitos básicos.

Em resposta, sugere-se a incorporação do delito de ecocídio no Estatuto de Roma do Tribunal Penal Internacional, com o objetivo de responsabilizar pessoas - incluindo líderes empresariais e líderes políticos - por ações de poluição severa e persistente do meio marinho por contaminantes radioativos. Esta sugestão, já discutida em espaços como a *Stop Ecocide Foundation*,¹ geraria um novo tipo de dissuasão jurídica, enfatizando a noção de que o mar é um patrimônio comum da humanidade, cuja destruição deve ser penalmente sancionada no âmbito internacional (STOP ECOCIDE FOUNDATION, 2025).

A Educação Ambiental Marinha e a participação da sociedade civil global são outros elementos estratégicos para o fortalecimento da Governança marítima. A questão dos resíduos radioativos ainda é pouco entendida fora do meio técnico, o que complica a participação popular em campanhas de denúncia, supervisão ou controle social. Iniciativas como o "*Ocean*

¹ Tradução livre: *Stop Ecocide Foundation* (Fundação Pare o Ecocídio) – “A missão da Stop Ecocide Foundation é estabelecer um novo marco legal internacional que responsabilize criminalmente aqueles que causam destruição ambiental severa, promovendo uma cultura de respeito e cuidado com a Terra e todas as formas de vida. A visão é criar um mundo onde os ecossistemas vitais sejam legalmente protegidos contra danos graves, garantindo um futuro sustentável para as próximas gerações” (STOP ECOCIDE FOUNDATION, 2025).

Literacy",² promovido pela Unesco, necessitam de informações detalhadas sobre os perigos da energia nuclear, fomentando a participação cidadã na gestão das políticas de energia e meio ambiente (UNESCO, 2025).

Por fim, a superação dos obstáculos identificados requer a criação de uma nova ética ecológica global, focada no reconhecimento da fragilidade dos oceanos e na responsabilidade compartilhada pela sua salvaguarda. O oceano, antes percebido como um depósito sem fim de detritos, precisa ser reinterpretado como um sistema vital, delicado e interligado. Esta mudança de paradigma é crucial para estabelecer um novo acordo jurídico-ambiental, que trate os resíduos radioativos com a seriedade e a rigidez que sua periculosidade requer (UNESCO, 2025).

3 ESTUDOS DE CASO: ANÁLISE E REFLEXÃO

Em março de 2011, um terremoto acompanhado de um tsunami provocou a quebra dos sistemas de resfriamento da Usina Nuclear de Fukushima Daiichi, provocando a liberação de grandes volumes de material radioativo no Oceano Pacífico. Acredita-se que diariamente cerca de 300 toneladas de água poluída eram lançadas no oceano, contendo isótopos como cézio-137 e estrôncio-90. Inicialmente, a *Tokyo Electric Power Company* (TEPCO) subestimou os níveis de radiação, mas depois reconheceu que as medições anteriores estavam abaixo dos valores reais (Kanda, 2013).

Esse vazamento contínuo levantou questões sobre a eficácia das medidas de contenção e a responsabilidade da TEPCO e do governo japonês na gestão do desastre. Esse evento evidenciou lacunas na governança ambiental internacional, especialmente no que tange à responsabilização jurídica por danos transfronteiriços causados por resíduos nucleares (Kanda, 2013).

A liberação gradual de águas tratadas da usina nuclear de Fukushima Daiichi começou em agosto de 2023, no Oceano Pacífico. As águas acumuladas desde o acidente nuclear de 2011 foram processadas por meio do Sistema Avançado de Processamento de Líquidos (ALPS) para eliminar a maior parte dos radionuclídeos, com exceção do trítio, que é complicado de ser separado da água. A Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA)

² Tradução Livre: *Ocean Literacy* (Alfabetização Oceânica). - “É um programa na qual a Unesco busca ampliar o entendimento público acerca da relevância dos oceanos, destacando a conexão entre humanos e os ecossistemas marinhos. O projeto advoga pela incorporação do oceano nos programas escolares e sugere sete princípios essenciais para a educação marinha, visando a formação de cidadãos mais conscientes, aptos a auxiliar na sustentabilidade dos oceanos e na luta contra as alterações climáticas” (UNESCO, 2025).

concluiu que o plano de eliminação está de acordo com as normas internacionais de segurança e que o efeito radiológico para indivíduos e o ambiente seria mínimo (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2023).

Contudo, a decisão provocou inquietações entre as comunidades de pescadores locais e nações próximas, como China e Coreia do Sul, que questionaram a segurança do processo e impuseram limitações à importação de frutos do mar do Japão. Além disso, advogados especializados em Direito ambiental enfatizaram a importância de um estudo mais detalhado sobre a conformidade dessa prática com acordos internacionais, como a Convenção de Londres de 1972, que estabelece normas para o lançamento de resíduos no oceano, como forma de prevenir incidentes vindouros (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2023).

Pesquisas conduzidas em 2012 identificaram vestígios de cézio-134, um isótopo radioativo ligado ao desastre de Fukushima, em atuns apanhados na costa da Califórnia. Apesar dos níveis estarem abaixo dos considerados seguros para consumo humano, a existência do radionuclídeo destacou a habilidade de organismos marinhos migratórios em transportar contaminantes nucleares a longas distâncias. Este caso ressalta a importância do monitoramento constante da vida marinha e enfatiza a relevância de protocolos internacionais para gerir a dispersão de resíduos radioativos no meio marinho (Madigan *et al.*, 2012).

A habilidade dos seres marinhos em transportar radionuclídeos a longas distâncias aumenta a complexidade dos efeitos e requer uma ação conjunta entre nações para o monitoramento, responsabilização e prevenção. Este contexto requer uma reinterpretação dos princípios jurídicos internacionais sob a perspectiva da precaução e da equidade intergeracional, fomentando um modelo de desenvolvimento energético mais prudente dedicado à salvaguarda dos bens ambientais compartilhados da humanidade (Madigan *et al.*, 2012).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste estudo foi analisar a conformidade das práticas de descarte de resíduos nucleares no ambiente marinho com os instrumentos jurídicos multilaterais vigentes, à luz do Direito Ambiental Internacional. A partir de uma avaliação técnico-científica e normativa, conclui-se que tais práticas, na sua configuração atual, não se alinham totalmente com as normas internacionais, tais como a Convenção de Londres de 1972 e a CNUDM.

Embora esses instrumentos representem progressos históricos na proteção dos oceanos, essas convenções contêm importantes falhas regulatórias, especialmente relacionadas à especificidade do risco nuclear, à supervisão transnacional e aos procedimentos de responsabilização legal.

A pesquisa revelou que os resíduos radioativos provocam efeitos ambientais graves, duradouros e frequentemente irreversíveis, impactando a biodiversidade marinha e a saúde humana de maneira direta e indireta. Esses efeitos, frequentemente ignorados nos modelos tradicionais de avaliação ambiental, evidenciam a necessidade urgente de incluir parâmetros que levem em conta a bioacumulação e a continuidade dos radionuclídeos nos ecossistemas marinhos.

Sob a perspectiva jurídica, observou-se que os tratados internacionais examinados não possuem mecanismos eficientes de penalidade e supervisão, o que prejudica a eficácia da responsabilidade por danos ambientais originados do descarte nuclear. Portanto, sugere-se uma interpretação progressiva e unificada do Direito Internacional, que abranja a responsabilidade objetiva, a instituição de fundos de compensação ambiental, o aumento da responsabilidade de empresas privadas e até mesmo a categorização do ecocídio como delito internacional.

Os acontecimentos resultantes do desastre de Fukushima em 2011 não só revelaram a fragilidade das instalações nucleares perante desastres naturais, mas também levantaram questões sérias acerca da habilidade da governança internacional em prevenir e reparar danos ambientais de alcance mundial. A constante liberação de água poluída no Oceano Pacífico, mesmo após o tratamento pelo sistema ALPS, suscita considerações éticas e legais acerca do uso do oceano como depósito de resíduos nucleares, pondo em dúvida a observância de tratados multilaterais, como a Convenção de Londres de 1972.

Apesar de a AIEA ter confirmado que os efeitos radiológicos seriam mínimos, a oposição de nações vizinhas e comunidades pesqueiras destacam a incerteza e a desconfiança que ainda permeiam a discussão, especialmente devido à falta de mecanismos de responsabilização eficazes. Ademais, a detecção de célio-134 em peixes capturados ao longo da costa da Califórnia enfatiza a importância de entender o oceano como um ambiente ecológico interligado, não restringido por limites nacionais.

O estudo mostrou que existe um desequilíbrio entre o progresso tecnológico da energia nuclear e a habilidade do Direito Internacional em controlar seus efeitos no meio marinho. Para preencher essa brecha, é crucial intensificar a governança ambiental mundial

por meio da convergência de tratados, da colaboração técnica entre nações e do desenvolvimento de mecanismos legais mais sólidos, preventivos e obrigatórios.

Ao combinar elementos jurídicos, ambientais e éticos, auxilia na discussão sobre a criação de um novo modelo regulatório internacional, dedicado à proteção eficaz dos oceanos e à punição adequada dos agentes que prejudicam sua integridade. Assim, reafirma-se a necessidade urgente de ações coordenadas e globais que coloquem a conservação marinha acima dos interesses econômicos (empresariais e governamentais), garantindo a saúde do planeta para as gerações atuais e vindouras.

REFERÊNCIAS

BAAOUSH, M. *et al.* Aggregation and sedimentation of engineered nanoparticles in aquatic environments. **Science of the Total Environment**, v. 409, n. 12, p. 2327–2341, 2011.

BATLEY, G. E. *et al.* Nanoparticles in the aquatic environment: Behavior, fate, bioavailability, and effects. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 32, n. 3, p. 455–467, 2013.

BECARO, A. A. *et al.* Toxicity of silver nanoparticles to aquatic organisms. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 115, p. 45–52, 2015.

BODANSKY, Daniel. **The Art and Craft of International Environmental Law**. Cambridge: Harvard University Press, 2010.

BUZEA, C. *et al.* Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity. **Biointerphases**, v. 2, n. 4, p. MR17–MR71, 2007.

BLASER, S. A. *et al.* Estimation of cumulative aquatic exposure and risk due to silver: Contribution of nanofunctionalized plastics and textiles. **Science of the Total Environment**, v. 390, n. 2–3, p. 396–409, 2008.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2 set. 1981. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938compilada.htm>. Acesso em: 14 abr. 2025.

BRASIL. **Decreto nº 87.566, de 16 de setembro de 1982**. Promulga o texto da convenção sobre Prevenção da Poluição Marinha por Alijamento de Resíduos e Outras Matérias, concluída em Londres, a 29 de dezembro de 1972. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 17 set. 1982. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/1980-1984/D87566.htm>. Acesso em: 14 abr. 2025.

CHEN, X. *et al.* The use of hydroxyapatite as an adsorbent for heavy metals from aqueous solution. **Water Research**, v. 31, n. 10, p. 2341–2346, 1997.

FAJARDO, A. R. *et al.* Nanomaterials and their effect in aquatic systems. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, v. 49, n. 10, p. 1119–1130, 2014.

FARKAS, J. *et al.* Effects of silver and gold nanoparticles on rainbow trout hepatocytes. **Aquatic Toxicology**, v. 96, n. 1, p. 44–52, 2010.

FERNANDEZ, A. *et al.* Assessment of silver nanoparticles toxicity in aquatic organisms. **Ecotoxicology**, v. 23, n. 7, p. 1221–1230, 2014.

HANDY, R. D. *et al.* The ecotoxicology of nanoparticles and nanomaterials: Current status, knowledge gaps, challenges, and future needs. **Ecotoxicology**, v. 17, n. 5, p. 315–325, 2008.

INOUE, K. *et al.* Toxicity evaluation of nanoparticles using aquatic organisms. **Environmental Health and Preventive Medicine**, v. 14, n. 1, p. 24–30, 2009.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **IAEA finds Japan's plans to release treated water into the sea at Fukushima consistent with international safety standards**. Vienna: IAEA, 2023. Disponível em: <<https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-finds-japans-plans-to-release-treated-water-into-the-sea-at-fukushima-consistent-with-international-safety-standards>>. Acesso em: 14 abr. 2025.

JACKSON, B. P. *et al.* Bioaccumulation and transformation of nanoparticle silver in freshwater invertebrates. **Environmental Science & Technology**, v. 47, n. 8, p. 4102–4110, 2013.

KANDA, J. Continuing ¹³⁷Cs release to the sea from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant through 2012." **Biogeosciences**, v. 10, p. 6107–6113, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/bg-10-6107-2013>>. Acesso em: 14 abr. 2025.

LADEIRA, A. C. Q. *et al.* Extração e especiação de metais pesados em sedimentos aquáticos. **Química Nova**, v. 37, n. 3, p. 450–457, 2014.

LEE, W. M. *et al.* Toxicity of metal oxide nanoparticles to aquatic organisms. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 28, n. 10, p. 2161–2168, 2009.

MADIGAN, D. J. *et al.* **Radiocesium in Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* in 2011**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 109, n. 24, p. 9483–9486, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1073/pnas.1204859109>>. Acesso em: 14 abr. 2025.

NOWACK, B.; BUCHELI, T. D. Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment. **Environmental Pollution**, v. 150, n. 1, p. 5–22, 2007.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: CNUMAD, 1992. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2013/12/declaracao_rio_ma.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2025.

SANDS, Philippe. **Principles of International Environmental Law**. 3. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.

SILVA, Michele Maria da. **Interações de resíduos da medicina nuclear com sedimentos marinhos**: implicações geoquímicas e ambientais. 2019. Dissertação (Mestrado em Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais) – Comissão Nacional de Energia Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2019.

STOP ECOCIDE FOUNDATION. **Stop Ecocide International**. 2025. Disponível em: <<https://www.stopecocide.earth/>>. Acesso em: 14 abr. 2025.

UNESCO. **Ocean literacy**. Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. Disponível em: <<https://oceanliteracy.unesco.org/>>. Acesso em: 14 abr. 2025.