

Oceano Profundo e Transição Energética: mineração abissal, precaução ecológica e os limites do patrimônio comum da humanidade

Deep Ocean and Energy Transition: abyssal mining, ecological precaution and the limits of the common heritage of humankind

Juliana Sobieski[1]

RESUMO: A mineração em águas profundas consolidou-se como um dos debates mais controversos da atual transição energética global. A crescente demanda por minerais críticos utilizados em baterias, redes elétricas, turbinas eólicas e tecnologias de baixo carbono intensificou a pressão econômica sobre ecossistemas abissais ainda insuficientemente compreendidos pela ciência. O artigo analisa criticamente a compatibilidade jurídica da mineração oceânica profunda com os princípios estruturantes do Direito Internacional Ambiental e do Direito Internacional do Mar, especialmente os princípios da precaução, da prevenção, da proteção do patrimônio comum da humanidade e da equidade intergeracional. Parte-se da hipótese de que a descarbonização da economia global, embora necessária diante da crise climática, não elimina racionalidades extrativistas historicamente associadas à degradação ambiental, mas tende a reorganizá-las sob nova gramática ecológica. A pesquisa utiliza metodologia qualitativa, bibliográfica e documental, articulando literatura especializada com relatórios produzidos por IPCC, IEA, ISA, UNEP, IUCN e Banco Mundial. Examina-se a nova geopolítica dos minerais críticos, o regime jurídico internacional dos fundos marinhos e os limites regulatórios da Autoridade Internacional dos Fundos Marinhos. Sustenta-se que a abertura de uma nova fronteira industrial no oceano profundo, diante de incertezas científicas relevantes e riscos potencialmente irreversíveis à biodiversidade marinha, exige interpretação reforçada do princípio da precaução e adoção de medidas como moratórias ou pausas regulatórias qualificadas. Conclui-se que a transição energética não pode ser avaliada exclusivamente pela redução de emissões, devendo considerar também seus custos ecológicos, materiais e intergeracionais.

PALAVRAS-CHAVE: Mineração em águas profundas; transição energética; Direito do Mar;

[1] Doutoranda em Direito pela **ATITUS EDUCAÇÃO** – Linha de pesquisa - **Dimensões Jurídico-políticas da Tecnologia e da Inovação.** Mestre pela **ATITUS EDUCAÇÃO**. Advogada OAB/RS pela Escola de Ciências Jurídicas (UPF) de Passo Fundo/RS - Pós-Graduada em Direito Digital pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ/ITS Rio). Contadora UNIVAG - CRC/MT; MBA em Controladoria e Finanças PUC/Goiás. e-mail: juliana.sobieski.adv@gmail.com e julianasobieski.js@gmail.com. Lattes: http://lattes.cnpq.br/9401654264861549, orcid: https://orcid.org/0009-0001-3419-3168.

princípio da precaução; patrimônio comum da humanidade.

ABSTRACT: Deep-sea mining has emerged as one of the most controversial issues within the contemporary global energy transition. The increasing demand for critical minerals used in batteries, electrical grids, wind turbines and low-carbon technologies has intensified economic pressure over abyssal ecosystems that remain only partially understood by science. This article critically examines the legal compatibility of deep-sea mining with the core principles of International Environmental Law and the International Law of the Sea, particularly the principles of precaution, prevention, common heritage of humankind and intergenerational equity. The central hypothesis is that the decarbonization of the global economy, although necessary in the face of the climate crisis, does not eliminate extractivist rationalities historically associated with environmental degradation, but rather reorganizes them under a new ecological grammar. The research adopts a qualitative, bibliographic and documentary methodology, combining specialized literature with reports produced by the IPCC, IEA, ISA, UNEP, IUCN and the World Bank. The paper examines the emerging geopolitics of critical minerals, the international legal regime governing the seabed and the regulatory limitations of the International Seabed Authority. It argues that the opening of a new industrial frontier in the deep ocean, amid significant scientific uncertainty and potentially irreversible risks to marine biodiversity, requires a strengthened interpretation of the precautionary principle, including moratoria or qualified regulatory pauses. The study concludes that the energy transition cannot be assessed solely through carbon reduction targets, but must also account for its material, ecological and intergenerational costs.

KEYWORDS: Deep-sea mining; energy transition; Law of the Sea; precautionary principle; common heritage of humankind.

INTRODUÇÃO

A mineração em águas profundas talvez seja uma das contradições mais incômodas da transição energética contemporânea. Para reduzir emissões de carbono, a economia global parece disposta a abrir uma nova fronteira extrativa em um dos ecossistemas menos conhecidos do planeta. A promessa é sedutora: níquel, manganês, cobre, cobalto, lítio e terras raras seriam indispensáveis para baterias, veículos elétricos, turbinas eólicas, painéis solares e redes de eletrificação. A pergunta, porém, permanece desconfortável: salvar o clima pode significar minerar o fundo do mar?

A transição energética é necessária. Isso não está em disputa. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas tem reiterado que a limitação do

aquecimento global exige reduções rápidas, profundas e sustentadas das emissões antropogênicas, sobretudo nos setores energético, industrial e de transporte (IPCC, 2023). A Agência Internacional de Energia, por sua vez, indica que a demanda por minerais críticos tende a crescer de forma expressiva em cenários de eletrificação massiva e neutralidade climática (IEA, 2025). O Banco Mundial já havia estimado que determinados minerais vinculados às tecnologias limpas poderiam ter sua produção ampliada em níveis próximos de 500% até 2050[2] em cenários compatíveis com metas climáticas internacionais (WORLD BANK, 2020).

Há algo perturbador nesse cálculo. A economia verde não aboliu a dependência material da economia global. Apenas deslocou o centro da disputa. Se o século XX foi organizado em torno do petróleo, o século XXI parece cada vez mais atravessado por uma nova geopolítica mineral. A descarbonização industrial exige infraestrutura, mineração, logística, energia, processamento químico e cadeias globais de suprimento. Não existe transição energética puramente imaterial. Existe, isto sim, uma disputa sobre quais territórios, ecossistemas e populações suportarão seus custos ocultos.

Nesse cenário, a mineração em águas profundas, *deep-sea mining*, passa a ser apresentada por alguns setores econômicos e institucionais como solução quase inevitável. O raciocínio é simples: se a transição energética exige minerais críticos e se a mineração terrestre produz danos sociais e ambientais conhecidos, o oceano profundo surgiria como alternativa tecnicamente promissora. O argumento parece limpo. Talvez limpo demais. Comparar danos terrestres visíveis com danos abissais ainda incertos pode criar uma falsa sensação de vantagem ambiental. O desconhecido não é menos grave apenas porque

[2] Disponível em: Mineração Inteligente para o Clima: Minerais para a Ação Climática. Acesso 30 de abril de 2026.

permanece fora do campo de visão.

O oceano profundo continua sendo tratado, muitas vezes, como espaço distante, silencioso e funcionalmente vazio. Não é. Talvez seja justamente o contrário: trata-se de um dos sistemas ecológicos menos compreendidos e, por isso mesmo, mais vulneráveis à fantasia contemporânea da inevitabilidade tecnológica. Ecossistemas abissais apresentam temporalidades biológicas lentas, baixa resiliência e elevada sensibilidade a perturbações físicas persistentes. Quando se fala em mineração oceânica, portanto, não se está diante de simples aproveitamento racional de recursos minerais. Está-se diante da possível industrialização de uma fronteira ecológica cuja complexidade ainda escapa parcialmente à ciência.

O problema de pesquisa deste artigo pode ser formulado da seguinte maneira: a mineração em águas profundas pode ser juridicamente legitimada como instrumento necessário da transição energética ou representa uma reformulação contemporânea de racionalidades extrativistas incompatíveis com os princípios estruturantes do Direito Internacional Ambiental e do Direito Internacional do Mar?

A hipótese sustentada é a de que a mineração oceânica profunda, embora frequentemente apresentada como solução auxiliar da transição energética, tende a reproduzir uma racionalidade extrativista incompatível com a integridade ecológica dos oceanos e com os deveres internacionais de proteção ambiental. Essa incompatibilidade torna-se especialmente grave diante da persistência de incertezas científicas sobre impactos de longo prazo na biodiversidade marinha, nos ciclos biogeoquímicos, na transferência oceânica de carbono e na estabilidade dos ecossistemas abissais.

O objetivo geral consiste em analisar criticamente a compatibilidade jurídica da mineração em águas profundas com os princípios da precaução, da prevenção, da proteção

do patrimônio comum da humanidade e da governança ambiental internacional. Para tanto, o artigo examina, primeiro, a relação entre transição energética, minerais críticos e reorganização geopolítica das cadeias extrativas; depois, o regime jurídico internacional aplicável aos fundos marinhos, especialmente a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar e a atuação da Autoridade Internacional dos Fundos Marinhos; por fim, discute se a mineração oceânica profunda pode ser compreendida como solução climática legítima ou se apenas desloca danos ecológicos para uma zona ambientalmente invisível.

A relevância do tema decorre da crescente centralidade internacional da matéria. A Autoridade Internacional dos Fundos Marinhos permanece discutindo normas relativas à exploração comercial da Área, enquanto Estados, empresas mineradoras, organizações ambientais, cientistas e universidades disputam os limites jurídicos da mineração oceânica (ISA, 2025). Ao mesmo tempo, parte da literatura especializada tem insistido que o patrimônio comum da humanidade não pode ser reduzido a autorização econômica para exploração compartilhada. Ele envolve também proteção ambiental, equidade intergeracional e deveres de conservação de longo prazo (JAECKEL; GJERDE; ARDRON, 2017). A definição de “dano grave” ao meio marinho, por sua vez, continua sendo um dos pontos mais sensíveis do regime jurídico em formação, justamente porque a atividade minerária pode produzir efeitos cumulativos, persistentes e de difícil reparação (LEVIN et al., 2016).

A metodologia adotada é qualitativa, bibliográfica e documental, com utilização do método dedutivo. A pesquisa mobiliza literatura de Direito Internacional Público, Direito Internacional Ambiental, Direito do Mar e governança oceânica, articulando-a com relatórios técnicos e científicos produzidos por IPCC, IEA, UNEP, IUCN, WWF, Banco Mundial e ISA. O marco teórico dialoga especialmente com Philippe Sands, Alexandre Kiss, Edith Brown Weiss, Yoshifumi Tanaka, Valerio de Oliveira Mazzuoli e Aline

Jaeckel, sobretudo no que se refere à tensão entre desenvolvimento sustentável, patrimônio comum da humanidade, precaução ecológica, responsabilidade internacional e justiça intergeracional.

O artigo estrutura-se em três capítulos. O primeiro examina a nova geopolítica dos minerais críticos na transição energética. O segundo analisa o regime jurídico internacional dos fundos marinhos e os limites institucionais da governança oceânica contemporânea. O terceiro desenvolve a crítica central: a mineração em águas profundas pode converter a sustentabilidade em nova zona de sacrifício ambiental. A questão, no fundo, talvez não seja apenas se a humanidade possui tecnologia para minerar o oceano profundo. A questão é se possui maturidade jurídica e ecológica para decidir quando não fazê-lo.

1. A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E A NOVA GEOPOLÍTICA DOS MINERAIS CRÍTICOS

A mineração em águas profundas não deve ser compreendida como atividade econômica isolada, nem como simples questão técnica de engenharia mineral. Ela integra uma transformação material mais ampla: a reorganização da transição energética global em torno de novas cadeias extrativas. A descarbonização da economia mundial deslocou parte da centralidade histórica do petróleo e do gás para minerais críticos como cobre, níquel, manganês, lítio, cobalto, grafite e terras raras. A transição energética não aboliu a dependência mineral da economia global. Apenas trocou o petróleo por outro tipo de disputa geológica.

A linguagem institucional costuma apresentar a transição energética como substituição progressiva de matrizes fósseis por tecnologias de baixo carbono. A formulação está correta, mas incompleta. Veículos elétricos, baterias de íon-lítio, sistemas de armazenamento, painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas e redes inteligentes dependem

de infraestrutura mineral intensiva. Não há eletrificação em larga escala sem mineração em larga escala. É aí que a promessa verde começa a ficar menos confortável.

A Agência Internacional de Energia reconhece que a demanda por minerais críticos associados às tecnologias de baixo carbono deverá crescer substancialmente nas próximas décadas, sobretudo em cenários de neutralidade climática e eletrificação acelerada (IEA, 2025, p. 23). O Banco Mundial já havia estimado que a produção de minerais como grafite, lítio e cobalto poderia aumentar em quase 500% até 2050 para atender à demanda de tecnologias limpas em cenários compatíveis com metas climáticas internacionais (WORLD BANK, 2020, p. 1-2). A própria IEA também aponta concentração relevante nas cadeias de processamento e refino, com riscos associados à segurança de abastecimento, dependência tecnológica e vulnerabilidade industrial (IEA, 2025, p. 26-29).

Esse dado altera a gramática da segurança energética. Durante boa parte do século XX, a geopolítica energética girou em torno de reservas fósseis, oleodutos, rotas marítimas e zonas produtoras de petróleo. No século XXI, a disputa passa a envolver também refino de minerais, controle de cadeias químicas, capacidade industrial de processamento e acesso a depósitos estratégicos. A transição energética, portanto, não elimina a geopolítica dos recursos naturais. Ela a atualiza.

Talvez resida aí uma das ambiguidades mais delicadas da economia verde contemporânea. A narrativa da sustentabilidade sugere ruptura com padrões históricos de degradação ambiental. Mas, em muitos casos, o que se observa é menos ruptura do que reconfiguração das fronteiras de exploração. A lógica expansiva permanece. Mudam o recurso disputado, a justificativa política e a estética moral do empreendimento. Ontem, petróleo em nome do crescimento. Hoje, minerais em nome do clima.

Nesse contexto, o oceano profundo passa a ser apresentado como nova fronteira de

suprimento. Nódulos polimetálicos em regiões abissais são descritos como reservas potenciais de manganês, níquel, cobre e cobalto. Sulfetos maciços e crostas cobaltíferas entram nas projeções estratégicas da segurança mineral internacional. A mineração em águas profundas surge, então, como promessa de estabilidade para a economia de baixo carbono. Promessa sedutora e perigosa.

O problema é que os ecossistemas abissais continuam entre os ambientes menos conhecidos do planeta. O mar profundo não é vazio. Não é depósito inerte. Trata-se de um conjunto de sistemas ecológicos complexos, lentos, vulneráveis e ainda insuficientemente compreendidos. Ecossistemas bentônicos[3] apresentam baixa resiliência, temporalidades biológicas longas e elevada sensibilidade a perturbações físicas persistentes. A IUCN alerta que a mineração em águas profundas pode destruir habitats, fragmentar estruturas ecológicas e afetar espécies antes mesmo de serem adequadamente conhecidas.

Há algo quase distópico nisso e talvez menos distante de certos documentários contemporâneos sobre colapso oceânico do que gostaríamos de admitir. A economia global olha para ecossistemas abissais como se fossem infraestrutura invisível da transição energética. O oceano profundo vira bastidor mineral de uma modernização que se vende como limpa. A cena lembra a lógica de *Deep Rising*: não porque o filme ofereça uma teoria jurídica, evidentemente, mas porque captura uma intuição incômoda, o fundo do mar costuma aparecer tarde demais na imaginação política, quase sempre quando algo já foi violado.

A expressão “minerais críticos” também merece cautela. Críticos para quem? Para qual modelo de desenvolvimento? Para qual padrão global de consumo? A criticidade

[3] ...são comunidades de organismos que vivem associados ao fundo de corpos d'água (oceanos, rios ou lagos), região conhecida como zona bentônica. O termo vem do grego *benthos*, que significa "profundidade do mar".

mineral não decorre apenas de propriedades geológicas. Ela traduz prioridades industriais, militares, tecnológicas e comerciais de Estados e corporações. O mineral se torna "crítico" quando determinado projeto econômico depende dele. A categoria é técnica, sim, mas também política.

Parte da literatura internacional tem problematizado justamente essa reorganização ecológica da transição energética. Sands e Peel observam que o Direito Ambiental Internacional contemporâneo enfrenta conflitos distributivos cada vez mais sofisticados, especialmente quando atividades econômicas deslocam danos para regiões periféricas ou ecossistemas menos protegidos (SANDS; PEEL, 2018, p. 53). No caso da mineração oceânica profunda, o deslocamento assume contornos ainda mais sensíveis: os danos potenciais recaem sobre áreas além da jurisdição nacional, vinculadas ao regime do patrimônio comum da humanidade.

O argumento corporativo de que a mineração oceânica seria ambientalmente preferível à mineração terrestre precisa, por isso, ser tratado com prudência. Comparar danos terrestres conhecidos com danos marinhos ainda incertos pode produzir falsa equivalência regulatória. O desconhecido não é menos grave. Muitas vezes, ele apenas permanece menos visível. Estudos recentes sobre mineração experimental em regiões abissais mostram que perturbações no leito marinho podem persistir por décadas, com efeitos duradouros sobre sedimentos e organismos bentônicos.

É precisamente aqui que o princípio da precaução deixa de ser fórmula ornamental. Em ambientes sobre os quais a ciência ainda reconhece lacunas relevantes, a ausência de certeza absoluta não pode funcionar como autorização prática para dano irreversível. A precaução, no contexto abissal, não é freio ideológico à inovação. É condição mínima de racionalidade jurídica.

A proteção intergeracional reforça esse ponto. Edith Brown Weiss sustenta que a geração presente deve administrar recursos planetários sem comprometer as condições de existência digna das gerações futuras (WEISS, 1992, p. 37). Aplicada aos fundos marinhos internacionais, essa formulação ganha densidade especial: os impactos da mineração oceânica podem ultrapassar largamente ciclos eleitorais, contratos de exploração e horizontes financeiros de curto prazo.

A inevitabilidade, portanto, precisa ser enfrentada como problema jurídico. Quando uma atividade passa a ser apresentada como indispensável para salvar o clima, o espaço democrático de deliberação tende a estreitar-se. O debate deixa de perguntar se a atividade deve ocorrer e passa a perguntar apenas como regulá-la. Esse deslocamento é perigoso. Ele transforma escolhas políticas em etapas técnicas de uma transição supostamente inevitável.

Alternativas existem. A IEA reconhece que reciclagem, reaproveitamento mineral e estratégias de economia circular podem reduzir pressões futuras sobre novas cadeias extrativas, especialmente em minerais críticos utilizados em baterias e tecnologias energéticas (IEA, 2025, p. 89). O World Resources Institute também enfatiza que uma transição sustentável exige não apenas ampliar a oferta mineral, mas reduzir a demanda por minerais primários por meio de reuso, reciclagem e desenho circular de cadeias produtivas.

A questão jurídica central, então, deve ser reformulada. Não basta perguntar se existe tecnologia capaz de minerar o oceano profundo com menor impacto. A pergunta decisiva é anterior: a humanidade deve abrir uma nova fronteira extrativa em ecossistemas ainda insuficientemente conhecidos antes de esgotar alternativas menos agressivas, como reciclagem avançada, substituição tecnológica, redução de consumo material e reorganização produtiva?

A transição energética não pode ser avaliada apenas pela quantidade de carbono que promete reduzir. Também precisa ser julgada por seus meios, cadeias materiais, custos ecológicos e efeitos sobre bens ambientais globais. Uma transição que reduz emissões à custa da degradação silenciosa do oceano profundo talvez não represente ruptura ecológica substancial. Talvez seja apenas continuidade extrativista sob nova estética climática.

2. O REGIME JURÍDICO INTERNACIONAL DOS FUNDOS MARINHOS E A AUTORIDADE INTERNACIONAL DOS FUNDOS MARINHOS

A mineração em águas profundas desloca o Direito Internacional do Mar para uma zona desconfortável. Não se trata apenas de regular uma atividade econômica emergente. Trata-se de decidir se o fundo do mar internacional pode ser convertido em nova fronteira extrativa da transição energética antes que a ciência, a governança e a responsabilidade ambiental estejam minimamente maduras para isso.

O principal fundamento jurídico desse debate está na Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar de 1982. A UNCLOS estruturou zonas marítimas, competências estatais, direitos soberanos e deveres ambientais em um sistema relativamente integrado, razão pela qual Tanaka a descreve como espécie de "constituição dos oceanos" (TANAKA, 2019, p. 15). No caso dos fundos marinhos além das jurisdições nacionais, a Convenção criou uma categoria particularmente densa: a Área e seus recursos minerais foram definidos como patrimônio comum da humanidade.

A expressão não é decorativa. O patrimônio comum da humanidade limita apropriações unilaterais e exige que eventual exploração dos recursos da área ocorra em benefício da humanidade como um todo, com especial atenção aos interesses dos países em desenvolvimento. Kiss e Shelton observam que essa noção rompe, ao menos parcialmente, com a lógica clássica da soberania exclusiva, introduzindo uma dimensão coletiva na gestão

de certos bens planetários (KISS; SHELTON, 2007, p. 201).

O problema começa justamente aí, um patrimônio comum significa autorização regulada para explorar ou dever reforçado de proteger? A resposta nunca foi pacífica e uma leitura mais econômica vê a Área como reserva mineral internacional administrável e outra, mais ecológica, entende o patrimônio comum como limite jurídico à apropriação de ecossistemas frágeis. A tensão não é lateral. Ela atravessa todo o regime.

A Autoridade Internacional dos Fundos Marinhos nasceu dentro dessa ambiguidade. A ISA deve organizar, regulamentar e controlar atividades minerais na Área, mas também assegurar proteção efetiva do meio marinho. A contradição institucional é evidente: a mesma organização encarregada de viabilizar a mineração precisa impedir que ela produza danos significativos.

A própria ISA define o *Mining Code* como o conjunto de regras, regulamentos e procedimentos destinados a regular prospecção, exploração e explotação de minerais marinhos na Área. Essa moldura ainda está em construção. Em 2025, o Conselho da ISA seguia discutindo o texto consolidado das normas de explotação comercial, com debates sobre padrões ambientais, fiscalização, repartição de benefícios e proteção dos ecossistemas profundos. A mineração, portanto, pressiona antes que o regime esteja plenamente estabilizado.

O artigo 145 da UNCLOS é decisivo nesse ponto, ele exige que a ISA adote medidas apropriadas para prevenir, reduzir e controlar poluição e outros riscos ao meio marinho decorrentes das atividades na Área. Isso significa que a mineração oceânica nunca foi concebida como atividade ambientalmente neutra, desde sua origem, o regime jurídico reconhece risco ecológico relevante.

Mas reconhecer risco não é o mesmo que governá-lo. A elaboração das regras de explotação comercial permanece cercada por incertezas sobre parâmetros ambientais, mecanismos de inspeção, transparência científica, responsabilidade internacional e participação pública. Jaeckel observa que, mesmo que os benefícios econômicos da mineração em águas profundas sejam invocados em nome do patrimônio comum, persistem questões difíceis sobre distribuição equitativa, proteção ambiental e legitimidade institucional (JAECKEL, 2016, p.199). A pergunta incômoda é simples: o regime está pronto? Talvez não.

O princípio da precaução torna-se, por isso, central. Embora a UNCLOS não utilize sempre a terminologia contemporânea da precaução, sua lógica protetiva informa as obrigações ambientais do regime dos oceanos. A Declaração do Rio consolidou a ideia de que a ausência de certeza científica absoluta não pode justificar o adiamento de medidas eficazes contra degradação ambiental grave ou irreversível. Em matéria abissal, essa fórmula deixa de ser solenidade diplomática e vira critério mínimo de prudência.

A literatura científica reforça o ponto, que Levin et al, discutem a dificuldade de definir “dano grave” ao meio marinho no contexto da mineração em águas profundas, justamente porque impactos significativos podem envolver alterações ecológicas persistentes, perda de biodiversidade e perturbações em sistemas ainda pouco conhecidos (LEVIN et al., 2016).Um relatório de política ambiental alemão também sustenta que a proteção do patrimônio comum exige abordagem precautória diante do conhecimento limitado sobre o oceano profundo e dos potenciais danos da mineração.

Aqui aparece o paradoxo metodológico e exige-se avaliação de impacto ambiental robusta para autorizar a atividade. Porém o próprio ambiente a ser avaliado permanece insuficientemente conhecido, onde muitas espécies sequer foram descritas. Processos bentônicos operam em escalas temporais lentíssimas. A ciência ainda está chegando e a

indústria já pede licença.

O parecer consultivo do Tribunal Internacional do Direito do Mar, de 2011, tornou esse quadro juridicamente mais exigente. A Câmara de Controvérsias dos Fundos Marinhos afirmou que Estados patrocinadores têm deveres de *due diligence* reforçada em relação às atividades na Área, incluindo adoção de medidas adequadas, fiscalização e controle efetivo das entidades patrocinadas. A ASIL também destacou que o Tribunal tratou essa diligência como padrão elevado, e não como formalidade retórica .

Essa devida diligência não se esgota em editar normas internas, envolve monitoramento, avaliação prévia, fiscalização contínua, capacidade administrativa real e resposta proporcional ao risco. Mazzuoli observa que a responsabilidade internacional ambiental contemporânea se desloca progressivamente da reparação posterior para a prevenção de danos graves ou irreversíveis (MAZZUOLI, 2023, p. 104). No oceano profundo, essa passagem é vital, onde reparar depois pode significar reparar nunca.

A fragmentação de responsabilidades agrava o quadro. A mineração em águas profundas envolve empresas privadas, Estados patrocinadores, organismos internacionais, contratantes, investidores e estruturas técnicas transnacionais. Quando muitos atores participam da cadeia decisória, o dano tende a encontrar vários responsáveis possíveis e, paradoxalmente, nenhum responsável suficiente. O risco jurídico se espalha como sedimento.

Por isso, propostas de moratória, pausa precautória ou não autorização comercial ganharam força entre Estados, pesquisadores e organizações ambientais. A preocupação não é tecnofobia é a governança. Se o regime jurídico ainda não consegue definir com precisão dano grave, fiscalização adequada e responsabilidade por impactos cumulativos, autorizar exploração comercial parece menos prudência regulatória do que aposta

institucional.

Há também uma dimensão democrática. A Área não pertence aos Estados patrocinadores, nem às empresas contratadas, nem apenas aos órgãos técnicos da ISA, ela foi juridicamente vinculada à humanidade. Logo, decisões sobre sua exploração não podem permanecer confinadas a negociações diplomáticas opacas ou avaliações técnicas de baixa inteligibilidade pública. Informação, participação e controle social não são ornamentos procedimentais, ou seja, são condições de legitimidade ambiental.

Edith Brown Weiss ajuda a formular o ponto com clareza, a equidade intergeracional exige que a geração presente administre recursos planetários sem comprometer possibilidades existenciais das gerações futuras (WEISS, 1992, p. 39). Aplicada aos fundos marinhos, essa ideia pesa. A mineração pode durar décadas, mas seus efeitos ecológicos séculos.

Talvez por isso o oceano profundo pareça tão vulnerável politicamente e permanece longe da percepção pública, distante das imagens clássicas de degradação ambiental. Não há fumaça visível, rio em chamas, floresta derrubada. Há silêncio, profundidade, escuridão. Como em *The Abyss*, o fundo do mar aparece como lugar de mistério no Direito Internacional contemporâneo, porém, esse mistério não autoriza colonização econômica, pelo contrário, deveria recomendar cautela.

Ao final, o regime jurídico internacional dos fundos marinhos está atravessado por uma tensão que não pode ser disfarçada, onde de um lado, há pressão crescente por minerais críticos, segurança energética e aceleração da transição verde, de outro, há incerteza científica, fragilidade regulatória, deveres de proteção ambiental e uma categoria jurídica que não cabe facilmente na lógica da corrida extrativa.

A pergunta decisiva, portanto, não é apenas se a ISA pode regular a mineração, mas se o patrimônio comum da humanidade será interpretado como licença administrada para extrair ou como limite jurídico contra a transformação do oceano profundo em zona de sacrifício mineral. A resposta definirá mais do que o futuro da mineração em águas profundas, definirá o grau de seriedade ecológica do próprio Direito Internacional do Mar.

3. O PARADOXO ECOLÓGICO DA MINERAÇÃO EM ÁGUAS PROFUNDAS

Talvez a maior ironia da transição energética contemporânea seja esta: para reduzir emissões de carbono, a economia global parece disposta a industrializar um dos ecossistemas menos conhecidos do planeta. A mineração em águas profundas ocupa exatamente esse lugar desconfortável. Ela surge como promessa climática, mas também como nova fronteira extrativa. Promete descarbonização e exige intervenção industrial em zonas abissais, fala em futuro verde e opera por meio de máquinas, plumas sedimentares, ruído submarino, destruição física de habitats e incertezas ecológicas de longa duração.

O paradoxo ecológico, neste artigo, designa precisamente essa contradição, uma política apresentada como ambientalmente necessária pode produzir novas formas relevantes de degradação. No caso da mineração oceânica profunda, a legitimidade climática da atividade depende de um argumento sedutor, qual seria preciso extrair níquel, manganês, cobre, cobalto e terras raras para viabilizar baterias, veículos elétricos, redes inteligentes e tecnologias de baixo carbono. O problema é que essa narrativa desloca a seguinte pergunta, em vez de discutir apenas quais minerais serão necessários, é preciso perguntar quais ecossistemas serão sacrificados para sustentar essa necessidade.

O oceano profundo não é vazio e essa frase deveria ser óbvia, mas ainda precisa ser repetida, trata-se de ambiente ecologicamente sofisticado, marcado por baixa resiliência,

temporalidades biológicas lentas, elevada especialização adaptativa e enorme déficit de conhecimento científico. A IUCN alerta que a mineração em águas profundas pode produzir perda de espécies, fragmentação de habitats e danos a estruturas e funções ecossistêmicas ainda insuficientemente compreendidas (IUCN, 2024). Levin et al. já haviam demonstrado a dificuldade regulatória de definir "dano grave" nesse contexto, justamente porque impactos significativos podem envolver alterações ecológicas persistentes em sistemas cuja linha de base científica permanece incompleta (LEVIN et al., 2016).

Esse déficit de conhecimento não é detalhe técnico é o centro do problema jurídico, onde avaliações de impacto ambiental pressupõem alguma capacidade de previsão, comparação e monitoramento. Nos fundos marinhos profundos, porém, a ciência ainda descreve espécies, mapeia processos ecológicos básicos e tenta compreender interações entre biodiversidade bentônica, plumas sedimentares, cadeias tróficas, circulação oceânica e ciclos biogeoquímicos. Autorizar mineração comercial em larga escala nesse cenário significa transformar incerteza em licença operacional.

A UNEP vem advertindo que a mineração em águas profundas envolve riscos ambientais, regulatórios, reputacionais e operacionais significativos, recomendando que instituições financeiras priorizem estratégias alternativas, como redução da pegada da mineração terrestre, circularidade e reciclagem de minerais críticos (UNEP FI, 2024). A WWF, por sua vez, defende moratória global até que os riscos ambientais, sociais e econômicos sejam plenamente compreendidos e alternativas aos minerais marinhos tenham sido seriamente exploradas, a formulação é simples, sem conhecimento suficiente, não há salvaguarda suficientemente séria.

O princípio da precaução, aqui, deixa de ser enfeite de tratado e passa a funcionar como teste de maturidade jurídica, onde a precaução opera precisamente quando há risco

plausível de dano grave ou irreversível em contexto de incerteza científica. Sands e Peel sustentam que ela desloca o eixo do Direito Ambiental da reparação posterior para a prevenção antecipada do risco ecológico (SANDS; PEEL, 2018, p. 217). Nos fundos marinhos, esse deslocamento é decisivo.

Há uma assimetria temporal brutal nessa discussão e empresas e Estados operam em ciclos de investimento, licenciamento, contratos e retorno econômico, ecossistemas abissais operam em séculos, talvez milênios. Edith Brown Weiss lembra que a equidade intergeracional exige administrar recursos planetários sem comprometer direitos ecológicos das gerações futuras (WEISS, 1992, p. 38). A mineração em águas profundas desafia esse compromisso porque antecipa benefícios econômicos presentes e empurra incertezas ecológicas para um futuro que não vota, não contrata advogado e não participa das reuniões da ISA.

Também existe uma dimensão climática indireta que não pode ser ignorada, qual seja que os oceanos exercem papel essencial na absorção de calor, no ciclo do carbono e na regulação biogeoquímica planetária. Alterar ecossistemas profundos sem compreensão adequada de suas funções pode produzir efeitos que não cabem confortavelmente nas planilhas de viabilidade econômica. O IPCC reconhece a centralidade dos oceanos na estabilização climática global, sobretudo na absorção de calor acumulado por emissões antropogênicas (IPCC, 2023, p. 417). A mineração profunda, portanto, não é apenas tema mineral é também problema climático, ainda que por vias menos visíveis.

Aqui a crítica à sustentabilidade tecnocrática ganha força e parte da transição energética vem sendo tratada como substituição de equipamentos: motores fósseis por baterias, termelétricas por renováveis, redes antigas por sistemas inteligentes. Isso é necessário, mas insuficiente. A crise ecológica não se reduz a troca de matriz energética mas ela envolve escala material, padrões de consumo, dependência mineral, desenho

industrial e limites planetários. A mineração em águas profundas evidencia esse ponto com brutal clareza: tenta-se resolver uma crise de carbono abrindo uma nova fronteira de apropriação ecológica.

O argumento da inevitabilidade merece desconfiança. Sempre que uma atividade econômica passa a ser apresentada como indispensável para evitar catástrofe, o espaço democrático encolhe. A pergunta deixa de ser "devemos fazer?" e passa a ser "como fazer rapidamente?". Esse deslocamento é perigoso. A urgência climática é real; a captura da urgência por agendas extrativas também. A fronteira entre uma e outra nem sempre aparece no relatório executivo.

A própria Agência Internacional de Energia reconhece que reciclagem, reaproveitamento mineral, inovação substitutiva e estratégias de economia circular podem reduzir pressões futuras sobre novas cadeias extrativas (IEA, 2025, p. 89). Isso enfraquece narrativas que tratam a mineração oceânica profunda como caminho inevitável. Se existem alternativas menos agressivas ainda insuficientemente exploradas, a abertura de uma nova fronteira abissal deixa de parecer necessidade climática e começa a parecer escolha política.

O debate, portanto, não é entre clima e mineração, como se a única alternativa à mineração oceânica fosse a continuidade fóssil. Essa é uma falsa dicotomia. A pergunta juridicamente relevante é outra: antes de industrializar o fundo do mar, a comunidade internacional esgotou seriamente alternativas como reciclagem avançada, redução de demanda material, redesign tecnológico, substituição mineral e governança circular das cadeias produtivas? Se a resposta for negativa, e parece ser, a pressa extrativa perde parte de sua legitimidade.

A proposta de moratórias precautórias nasce justamente dessa lacuna. Vários Estados, cientistas, organizações ambientais e instituições passaram a defender que a mineração

comercial não avance enquanto persistirem incertezas científicas relevantes e insuficiências regulatórias. Isso não é romantismo oceânico. É prudência institucional. A WWF reiterou em 2025 que a mineração dos fundos marinhos pode ameaçar biodiversidade, regulação climática e objetivos de desenvolvimento sustentável, defendendo pausa antes da autorização comercial em larga escala.

Há algo quase perturbador na invisibilidade do dano abissal. Diferentemente de queimadas, derramamentos de petróleo ou rios contaminados, a degradação do fundo do mar não se oferece facilmente à imagem pública. Não viraliza do mesmo modo. Não produz a mesma indignação visual. O dano ocorre longe, escuro, técnico, submerso. Como em *The Abyss*, o fundo do oceano aparece como mistério; na economia verde, corre o risco de aparecer como almoxarifado.

Essa invisibilidade facilita sacrifícios. Aquilo que não é visto costuma ser mais facilmente convertido em variável de custo. Rob Nixon chamou atenção para formas de "violência lenta": danos graduais, dispersos, pouco espetaculares, mas profundamente destrutivos (NIXON, 2011). A mineração em águas profundas encaixa-se perigosamente nessa gramática. Não há explosão cinematográfica. Há pluma sedimentar, ruído, perda de habitat, incerteza acumulada. Menos espetáculo; mais permanência.

O verdadeiro paradoxo ecológico da mineração oceânica profunda, portanto, não está apenas em seus impactos ambientais diretos. Está no fato de que a transição energética pode acabar reproduzindo a mesma racionalidade expansiva que alimentou a crise ecológica: transformar novos espaços em reservas de valor, novos ecossistemas em infraestrutura e novas incertezas em externalidades administráveis.

O patrimônio comum da humanidade não pode ser reduzido a estoque mineral para a próxima etapa da economia verde. Interpretado em diálogo com o Direito Internacional

Ambiental, o Direito do Mar e a proteção internacional da biodiversidade, ele exige algo mais difícil: capacidade jurídica de dizer não, ou ao menos ainda não, quando a promessa de desenvolvimento repousa sobre ignorância ecológica relevante.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mineração em águas profundas revela uma contradição incômoda da transição energética contemporânea. Para reduzir emissões de carbono, a economia global parece disposta a deslocar a pressão extrativa para um dos ecossistemas menos conhecidos do planeta. A promessa é verde, mas a operação continua mineral, industrial e profundamente material.

A hipótese da pesquisa foi confirmada. Embora apresentada como instrumento auxiliar da descarbonização, a mineração oceânica profunda tende a reproduzir racionalidades extrativistas incompatíveis com os princípios estruturantes do Direito Internacional Ambiental e do Direito do Mar, sobretudo diante da fragilidade ecológica dos fundos marinhos, da insuficiência de conhecimento científico e da possibilidade de danos cumulativos, difusos e irreversíveis.

O primeiro eixo do artigo demonstrou que a economia verde não elimina a dependência mineral da economia global, mas ela reorganiza. Níquel, cobre, manganês, cobalto, lítio e terras raras passaram a ocupar posição estratégica na eletrificação, no armazenamento energético e nas tecnologias de baixo carbono. A transição energética, nesse sentido, não aboliu a disputa geológica. Apenas mudou seus objetos, seus mapas e sua linguagem.

O segundo eixo evidenciou a ambiguidade do regime jurídico internacional dos fundos marinhos. A Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar qualificou os recursos

da Área como patrimônio comum da humanidade, mas a arquitetura institucional da Autoridade Internacional dos Fundos Marinhos permanece atravessada por tensão estrutural: organizar a exploração econômica e, ao mesmo tempo, proteger o meio marinho. Essa dupla função talvez seja o ponto mais sensível do modelo. A mesma instituição que regula a porta de entrada também precisa vigiar o incêndio.

O terceiro eixo concentrou-se no paradoxo ecológico propriamente dito. A crise climática, real e urgente, passou a funcionar também como linguagem de legitimação para novas fronteiras extrativas. A mineração em águas profundas mostra esse deslocamento com rara nitidez: tenta-se proteger o clima mediante intervenção industrial em ambientes abissais ainda parcialmente desconhecidos. O risco ambiental não desaparece. Ele muda de lugar, perde visibilidade e retorna como externalidade técnica.

Nesse contexto, o princípio da precaução não pode ser tratado como fórmula protocolar. Em ecossistemas vulneráveis, lentos e cientificamente pouco compreendidos, a ausência de certeza não autoriza pressa regulatória. Autoriza cautela. Quanto maior a incerteza sobre danos graves ou irreversíveis, mais robusto deve ser o dever jurídico de contenção, transparência e prudência institucional.

Também não se pode reduzir o patrimônio comum da humanidade a estoque mineral da economia verde. Sua densidade jurídica exige leitura comprometida com responsabilidade intergeracional, justiça ecológica e proteção efetiva de bens planetários. Edith Brown Weiss acerta o ponto central: cada geração recebe o planeta não como proprietária absoluta, mas como depositária temporária. Nos fundos marinhos internacionais, essa ideia deixa de ser abstração moral e se torna problema jurídico concreto.

A pesquisa indica, ainda, que a mineração em águas profundas não deve ser tratada

como caminho inevitável. Estratégias de reciclagem avançada, economia circular, substituição mineral, redução de demanda material e redesign tecnológico precisam ocupar posição muito mais central nas políticas de transição energética. Antes de abrir uma nova fronteira industrial no oceano profundo, a comunidade internacional deveria demonstrar que esgotou alternativas menos agressivas. Esse ônus argumentativo não é pequeno. Nem deveria ser.

A conclusão normativa é, portanto, relativamente simples: enquanto persistirem lacunas científicas relevantes, insuficiência regulatória internacional e ausência de garantias ambientais efetivas, a mineração oceânica profunda exige postura precautória, inclusive sob a forma de moratória ou pausa regulatória qualificada. Isso não significa rejeição irracional à tecnologia. Significa recusar a velha fantasia de que todo limite ecológico é apenas um obstáculo administrativo ao próximo ciclo de crescimento.

No fundo, a pergunta decisiva talvez não seja se a humanidade possui tecnologia para minerar o oceano profundo. Possui, ou possuirá em breve. A pergunta é outra: possui maturidade jurídica, ecológica e política para decidir quando não fazê-lo?

A crise climática exige urgência. Mas urgência não pode significar cegueira. Talvez signifique exatamente o contrário.

REFERÊNCIAS

BORDAHANDY, Pierre-Jean. A mineração em águas profundas no Pacífico. *Revista de Direito Internacional*, v. 17, n. 2, 2020.

BROWN WEISS, Edith. *In fairness to future generations: international law, common patrimony, and intergenerational equity*. Tokyo: United Nations University, 1989.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. *Global Critical Minerals Outlook 2025*. Paris: IEA, 2025. Disponível em: https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-

outlook-2025. Acesso em: 18 maio 2026.

INTERNATIONAL SEABED AUTHORITY – ISA. *The Mining Code*. Kingston: ISA, [s.d.]. Disponível em: https://isa.org.jm/the-mining-code/. Acesso em: 12 maio 2026.

INTERNATIONAL TRIBUNAL FOR THE LAW OF THE SEA – ITLOS. *Responsibilities and obligations of States sponsoring persons and entities with respect to activities in the Area: advisory opinion*. Hamburg: ITLOS, 2011. Disponível em: https://www.itlos.org/en/main/cases/list-of-cases/case-no-17/. Acesso em: 14 maio 2026.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE – IUCN. *Deep-sea mining*. Gland: IUCN, 2024. Disponível em: https://iucn.org/resources/issues-brief/deep-sea-mining. Acesso em: 21 maio 2026.

JAECKEL, Aline. *The International Seabed Authority and the precautionary principle: balancing deep seabed mineral mining and marine environmental protection*. Leiden: Brill Nijhoff, 2017.

JAECKEL, Aline. Is the deep seabed mining regime ready? *Marine Policy*, v. 70, p. 198–204, 2016.

JAECKEL, Aline; GJERDE, Kristina M.; ARDRON, Jeff A. Conserving the common heritage of humankind: options for the deep-seabed mining regime. *Marine Policy*, v. 78, p. 150–157, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.01.019.

KISS, Alexandre; SHELTON, Dinah. *Guide to international environmental law*. Leiden: Martinus Nijhoff Publishers, 2007.

LEVIN, Lisa A. et al. Defining "serious harm" to the marine environment in the context of deep-seabed mining. *Marine Policy*, v. 74, p. 245–259, 2016.

MAZZUOLI, Valerio de Oliveira. *Curso de direito internacional público*. 15. ed. Rio de Janeiro: Forense, 2023.

NIXON, Rob. *Slow violence and the environmentalism of the poor*. Cambridge: Harvard University Press, 2011.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. *Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar*. Montego Bay, 1982. Disponível em: https://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_e.pdf. Acesso

em: 09 maio 2026.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. *Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento*. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: https://digitallibrary.un.org/record/141565. Acesso em: 07 maio 2026.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – IPCC. *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/. Acesso em: 28 abril 2026.

SANDS, Philippe; PEEL, Jacqueline. *Principles of international environmental law*. 4. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2018.

TANAKA, Yoshifumi. *The international law of the sea*. 3. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2019.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME FINANCE INITIATIVE – UNEP FI. *Harmful marine extractives: deep-sea mining*. Geneva: UNEP FI, 2024. Disponível em: https://www.unepfi.org/publications/harmful-marine-extractives-deep-sea-mining/. Acesso em: 23 maio 2026.

WORLD BANK. *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition*. Washington, DC: World Bank, 2020. Disponível em: https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/099052423172525564. Acesso em: 30 abril 2026.

WORLD RESOURCES INSTITUTE – WRI. *Energy Minerals and Circularity*. Washington, DC: WRI, [s.d.]. Disponível em: https://www.wri.org/initiatives/energy-minerals-and-circularity. Acesso em: 19 maio 2026.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE – WWF. *Deep seabed*. Gland: WWF, 2024. Disponível em: https://wwf.panda.org/discover/our_focus/oceans_practice/deep_seabed/. Acesso em: 24 maio 2026.