v7.n8.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

IMPORTAÇÃO DE RESÍDUOS E FLUXOS TRANSFRONTEIRIÇOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA SOBRE COMÉRCIO INTERNACIONAL E GOVERNANÇA AMBIENTAL

WASTE IMPORTS AND TRANSBOUNDARY FLOWS: A LITERATURE REVIEW OF INTERNATIONAL TRADE AND ENVIRONMENTAL GOVERNANCE

IMPORTACIÓN DE RESIDUOS Y FLUJOS TRANSFRONTERIZOS: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA SOBRE COMERCIO INTERNACIONAL Y GOBERNANZA AMBIENTAL

Marcela Evelyn Paiva de Azevedo[1], Alexandre Pilad Lebre[2], Ernando Soares Araujo[3], Fernando Richard Lima Perez Junior[4], Karina Querne de Carvalho[5], André Nagalli[6]

e788839
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i8.8839

PUBLICADO: 08/2026

RESUMO

O comércio internacional de resíduos é central no debate sobre sustentabilidade, governança ambiental e economia circular. Este estudo analisa a literatura científica global sobre o tema, com ênfase nas dinâmicas econômicas, institucionais e ambientais associadas à importação desses materiais. Metodologicamente, realizou-se uma revisão semi-sistemática da literatura nas bases *Scopus, Web of Science* e *Google Scholar*, considerando publicações de 2016 a 2026. Os resultados indicam que a política chinesa *National Sword* esteve associada à redistribuição dos fluxos e, segundo a literatura, a impactos ambientais nos países receptores, evidenciando assimetrias na economia circular. Enquanto resíduos de alto valor (mineração urbana) operam em redes estruturadas, materiais de baixo valor (plásticos mistos) migram para “zonas cinzentas” regulatórias devido a lacunas na Convenção de Basileia. Diante da rigidez dos modelos preditivos e do caráter reativo das alfândegas, os achados indicam a necessidade de desenvolvimento e avaliação de um modelo de indicadores integrados (ambientais, logísticos e aduaneiros) em tempo real, *fortalecendo o papel dos portos como barreiras potenciais de monitoramento e triagem preliminar* contra o *dumping* ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Comércio internacional de resíduos. Importação de resíduos. Governança ambiental. Fluxos transfronteiriços. Economia circular.

ABSTRACT

The international trade in waste is central to the debate on sustainability, environmental governance, and the circular economy.

[1] Mestre e doutoranda em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Advogada e Gestora Ambiental.
[2] Mestre e doutorando em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Engenheiro de Produção e Segurança do Trabalho.
[3] Mestre em Tecnologia de Processos Sustentáveis pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG).
[4] Mestre e doutorando em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
[5] Docente no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental e no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
[6] Engenheiro Civil. Doutor em Geologia. Professor na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

This study analyzes the global scientific literature on the topic, with an emphasis on the economic, institutional, and environmental dynamics associated with the importation of these materials. Methodologically, a semi-systematic literature review was conducted in the Scopus, Web of Science, and Google Scholar databases, covering publications from 2016 to 2026. The results indicate that China's National Sword policy has been associated with the redistribution of waste flows and, according to the literature, with environmental impacts in receiving countries, highlighting asymmetries in the circular economy. While high-value waste (urban mining) operates within structured networks, low-value materials (mixed plastics) migrate to regulatory "gray zones" due to loopholes in the Basel Convention. Given the rigidity of predictive models and the reactive nature of customs agencies, the findings point to the need to develop and evaluate a real-time model of integrated indicators (environmental, logistical, and customs-related), thereby strengthening the role of ports as potential barriers for monitoring and preliminary screening against environmental dumping.

KEYWORDS: *International waste trade. Waste imports. Environmental governance. Transboundary waste flows. Circular economy.*

RESUMEN

El comercio internacional de residuos ocupa un lugar central en el debate sobre la sostenibilidad, la gobernanza medioambiental y la economía circular. Este estudio analiza la literatura científica mundial sobre el tema, haciendo hincapié en las dinámicas económicas, institucionales y medioambientales asociadas a la importación de estos materiales. Desde el punto de vista metodológico, se llevó a cabo una revisión semisistemática de la bibliografía en las bases de datos Scopus, Web of Science y Google Scholar, teniendo en cuenta publicaciones desde 2016 hasta 2026. Los resultados indican que la política china National Sword se asoció a la redistribución de los flujos y, según la bibliografía, a impactos medioambientales en los países receptores, lo que pone de manifiesto asimetrías en la economía circular. Mientras que los residuos de alto valor (minería urbana) operan en redes estructuradas, los materiales de bajo valor (plásticos mixtos) migran hacia "zonas grises" normativas debido a las lagunas de la Convención de Basilea. Ante la rigidez de los modelos predictivos y el carácter reactivo de las aduanas, los resultados apuntan a la necesidad de desarrollar y evaluar un modelo de indicadores integrados (medioambientales, logísticos y aduaneros) en tiempo real, reforzando el papel de los puertos como posibles barreras de control y cribado preliminar contra el vertido ilegal de residuos.

PALABRAS CLAVE*: Comercio internacional de residuos. Importaciones de residuos. Gobernanza ambiental. Flujos transfronterizos de residuos. Economía circular.*

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o crescimento acelerado da geração global de resíduos consolidou-se como um dos principais desafios de governança e sustentabilidade contemporâneos (Ghisellini; Cialani; Ulgiati, 2016). Impulsionado pela urbanização e pela integração das cadeias de suprimentos, o descarte de materiais industriais e de consumo deixou de ser uma questão de saneamento local para se transformar em um mercado internacional

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

ativo, onde resíduos são transacionados como commodities para reciclagem, recuperação energética ou disposição final (Kellenberg, 2015). Contudo, a circulação transfronteiriça desses passivos também despertou debates éticos e regulatórios urgentes sobre justiça ambiental e a transferência desigual de riscos ecológicos entre nações, afetando de maneira desproporcional os países em desenvolvimento (Clapp, 2001).

A resposta institucional a esses fluxos estruturou-se historicamente ao redor da Convenção da Basileia (1989), concebida para regular o comércio de resíduos perigosos e proteger as nações menos industrializadas do recebimento de passivos ambientais nocivos (Khan, 2020; De Oliveira *et al*., 2023). Todavia, as assimetrias no rigor das legislações nacionais e na capacidade fiscalizatória criaram os chamados “paraísos de poluição” (*pollution havens*), incentivando a exportação informal de materiais poluentes de baixo valor econômico sob justificativas de reciclagem (Kopsick, 2011). Esse cenário de desequilíbrio sistêmico sofreu uma ruptura drástica com a implementação da política chinesa *National Sword*, que restringiu severamente a importação de recicláveis estrangeiros (Brooks; Wang; Jambeck, 2018). O veto chinês reconfigurou a geografia do descarte global, redirecionando fluxos massivos de materiais do Norte Global para países do Sudeste Asiático e da América Latina, expondo a fragilidade de suas estruturas institucionais de triagem e controle de fronteira (Qu *et al*., 2019; Wang *et al*., 2020).

Nesse contexto de transição, embora a literatura acadêmica venha explorando os impactos geopolíticos das redes globais de reciclagem e os preceitos teóricos da economia circular (Gregson; Crang, 2015; Pimenow; Pimenowa; Rembisz, 2026), constata-se uma lacuna crítica na operacionalização de ferramentas de fiscalização e monitoramento prático da importação de resíduos (Duc; Nguyen, 2026). A maior parte dos estudos concentra-se em diagnósticos macroeconômicos ou avaliações gerais de fluxo de materiais, resultando em escassez de pesquisas dedicadas a propor instrumentos práticos e modelos de indicadores capazes de apoiar diretamente a atuação de autoridades ambientais e aduaneiras nas fronteiras portuárias (Molina-Serrano; González-Cancelas; Soler-Flores, 2018b; Pedersini *et al.,* 2022).

Sob essa perspectiva de integração sistêmica, o objetivo principal deste estudo é analisar a literatura científica internacional sobre o comércio global de resíduos, com ênfase nas dinâmicas econômicas, institucionais e de governança ambiental associadas à importação desses materiais. De forma específica, o trabalho investiga como as lacunas dessa governança transfronteiriça repercutem nas limitações dos mecanismos de fiscalização e controle em zonas portuárias, buscando diagnosticar fragilidades institucionais aduaneiras e apontar diretrizes para a estruturação de indicadores de monitoramento aplicáveis ao cenário brasileiro, onde as

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

discussões sobre governança ESG portuária ganham cada vez mais relevância prática (Galvão *et al*., 2025).

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. Evolução e crescimento da geração global de resíduos

O atual estágio do debate sobre sustentabilidade ambiental demonstra que a gestão de resíduos sólidos se tornou um desafio geopolítico e econômico, superando a visão de saneamento isolado. Estudos indicam que a intensificação das trocas internacionais de materiais recicláveis acompanha o ritmo da urbanização e das mudanças nos padrões de consumo global. Essa dinâmica é corroborada por O'Neill (2019), que identifica o resíduo como uma mercadoria global intrínseca aos novos padrões de consumo, enquanto Pellow (2007) alerta que a intensidade desse fluxo transfronteiriço reflete diretamente as assimetrias geradas pela urbanização e pelos processos de descarte das sociedades industriais. Nesse contexto, a literatura aponta para a necessidade de compreender as cadeias globais de reciclagem não apenas sob o viés técnico, mas como fluxos econômicos que requerem novos mecanismos de controle e regulação diante da expansão do comércio entre as nações.

De acordo com Kellenberg (2015), o comércio internacional de resíduos funciona como uma extensão das dinâmicas comerciais tradicionais, influenciado por disparidades nacionais em custos de tratamento, regulamentações ambientais e capacidade industrial de reciclagem. Países com setores industriais intensivos em materiais recicláveis importam resíduos como insumos produtivos, ao passo que nações com maiores restrições ambientais ou custos elevados de tratamento tendem a exportar esses materiais. A expansão desses fluxos está associada à transformação dos resíduos em commodities. Lepawsky (2015b) destaca que o desenvolvimento de mercados globais de materiais secundários integrou diferentes regiões em redes complexas de circulação de descartes destinados à reciclagem, recuperação energética ou disposição final.

Entretanto, o comércio internacional de resíduos também tem gerado preocupações relacionadas à transferência de impactos ambientais entre países. Clapp (2001) argumenta que, historicamente, parte significativa desses fluxos ocorreu no sentido de países desenvolvidos para países em desenvolvimento, levantando debates sobre justiça ambiental e desigualdades globais na distribuição de riscos ambientais.

Para fins de precisão analítica e jurídica, este estudo delimita estritamente seus conceitos fundamentais. Os resíduos perigosos são definidos em consonância com o Artigo 1º e Anexos I e III da Convenção da Basileia, caracterizados por propriedades de inflamabilidade, corrosividade, toxicidade ou reatividade. Os crimes ambientais referem-se a infrações

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

transfronteiriças tipificadas legalmente, como o tráfico ilícito de resíduos sem o consentimento prévio fundamentado. Por sua vez, o *dumping* ambiental é tratado aqui como uma prática de arbitragem econômica internacional, na qual indústrias transferem seus passivos para jurisdições com padrões regulatórios ou custos de conformidade mais brandos. Por fim, os termos descartes irregulares e resíduos nocivos são empregados como categorias operacionais descritivas, abrangendo fluxos de materiais que, embora possam não ser classificados estritamente como perigosos, geram impactos socioambientais negativos devido à gestão local inadequada.

1.2. Governança e dinâmicas econômicas do comércio internacional de resíduos

O comércio internacional de resíduos emergiu como uma questão política e ambiental relevante a partir da década de 1980. Durante esse período, o aumento dos fluxos transfronteiriços e diversos casos de exportação de resíduos perigosos de países industrializados para países com menor capacidade regulatória foram amplamente divulgados. Esses episódios geraram preocupações sobre a transferência internacional de riscos ambientais e contribuíram para a formação de um debate sobre justiça ambiental e governança global. Clapp (2001) argumenta que essa prática representava uma forma de externalização de impactos ambientais associados aos padrões de consumo das economias industrializadas.

A literatura sobre economia ambiental indica que o comércio de resíduos pode ser motivado por fatores econômicos positivos, visto que materiais importados funcionam como matéria-prima para indústrias de reciclagem, reduzindo a demanda por recursos naturais e integrando a economia política global (Hoornweg; Bhada-Tata, 2012). Contudo, Ortegón Riveros e Echeverri Arango (2020) advertem criticamente que a globalização econômica historicamente priorizou dinâmicas comerciais e posicionamento de mercado em detrimento dos desdobramentos ecológicos. Desse modo, os fluxos transfronteiriços contemporâneos passam a refletir um sistema que privilegia a circulação de capitais sobre a contenção de passivos ambientais globais.

A resposta institucional a esse cenário consolidou-se com a Convenção da Basileia (1989), que instituiu o princípio do Consentimento Prévio Informado (CPI), exigindo anuência explícita entre as jurisdições de origem e destino para mitigar os riscos de resíduos perigosos. Esse regime tornou-se mais rigoroso com o *Basel Ban Amendment*, que vedou a transferência desses resíduos de Estados membros da OCDE para países não pertencentes ao bloco, buscando converter a gestão em responsabilidade compartilhada e impor limites éticos e técnicos à lógica de mercado (Kummer, 1995; Clapp, 2001; Lepawsky, 2015a).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Apesar desses avanços, a governança internacional enfrenta limitações em sua efetividade. Pesquisas apontam que a classificação de materiais recicláveis gera ambiguidades regulatórias que criam “zonas cinzentas” e dificultam o controle. Lepawsky (2015a) observa que essas lacunas, somadas às assimetrias nas capacidades de fiscalização nacionais, favorecem o comércio ilegal ou irregular. Diante disso, a literatura destaca a necessidade de fortalecer mecanismos de monitoramento, rastreabilidade e cooperação institucional para aprimorar a gestão global desses fluxos.

Copeland (1991) argumenta que, em um contexto de comércio internacional, empresas e países podem buscar reduzir custos transferindo atividades potencialmente poluentes para regiões onde a regulamentação ambiental é menos rigorosa. Essa lógica está relacionada à chamada hipótese do “*pollution haven”*, segundo a qual atividades poluentes tendem a se concentrar em países com regulamentação ambiental mais permissiva. Entretanto, outros estudos indicam que o comércio de resíduos também pode ser motivado por fatores econômicos positivos, como a demanda por materiais recicláveis em processos produtivos. Em alguns casos, resíduos importados podem representar importantes fontes de matéria-prima para indústrias de reciclagem e manufatura (Kellenberg, 2015; Gregson; Crang, 2015).

1.3. Redes globais de reciclagem

A literatura recente enfatiza que as redes globais de reciclagem atuam como estruturas fundamentais na circulação internacional de resíduos. Gregson e Crang (2015) destacam que esses fluxos não configuram apenas o descarte de excedentes, mas integram economias onde materiais descartados são revalorizados e transformados em recursos estratégicos. Essa perspectiva altera a percepção do resíduo, que deixa de ser um passivo ambiental para se tornar uma mercadoria inserida na lógica de acumulação de capital e eficiência produtiva. Essas redes conectam diferentes regiões e estabelecem uma interdependência entre países exportadores de alto consumo, centros de processamento industrial e mercados de materiais reciclados, cuja expansão é impulsionada pela volatilidade dos preços das *commodities* primárias e pelas pressões por sustentabilidade.

Todavia, essa lógica de revalorização encontrou um marco divisório com a implementação da política chinesa *National Sword* em 2017. A decisão de Pequim de restringir severamente a entrada de materiais com altos níveis de contaminação representou um choque sistêmico e uma mudança no paradigma de governança do setor (Brooks; Wang; Jambeck, 2018). Se antes as redes globais operavam sob uma presunção de capacidade de absorção ilimitada pelo mercado chinês, a imposição de critérios rigorosos de pureza para 24 tipos de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

resíduos revelou a fragilidade dessa interdependência e forçou o Norte Global a enfrentar a insustentabilidade de seus modelos de exportação de descartes (O'Neill, 2019).

Essa desestruturação mostrou que a eficiência econômica das redes dependia, paradoxalmente, da externalização de custos ambientais para o Sul Global. A drástica redução das importações chinesas provocou uma redistribuição imediata e desordenada dos fluxos para outras nações do Sudeste Asiático, notadamente Malásia, Vietnã e Tailândia (Wang *et al.*, 2020). Esse redirecionamento não resolveu a crise, mas a deslocou, expondo a incapacidade técnica e regulatória desses países em gerir volumes tão expressivos e mostrando as limitações das infraestruturas domésticas de reciclagem nas economias desenvolvidas.

O cenário pós-2017 marca uma transição na qual o resíduo definido como ativo estratégico por Gregson e Crang (2015) também passa a ser visto como fator de instabilidade sistêmica diante do colapso de grandes centros de processamento. As redes atuais operam de forma fragmentada e buscam novos mercados, uma vez que o antigo modelo de destino único deu lugar à dispersão geográfica com fluxos que se movem para regiões de legislações menos restritivas. Essas transformações ampliaram os debates sobre a necessidade de fortalecer a governança, o monitoramento e a cooperação. A saturação de mercados e o crescimento do comércio ilegal levaram à criação de medidas como a Emenda de Plásticos à Convenção da Basileia em 2019, com vigência em 2021, para aumentar a transparência e o controle dos movimentos transfronteiriços (Khan, 2020; De Oliveira *et al.*, 2023). Em resumo, houve a passagem de um modelo de livre comércio de descartes para um sistema de vigilância regulatória mais rigorosa e pressões por autossuficiência nacional, como aponta Clapp (2001), no qual a valorização econômica do resíduo não pode ignorar os limites da capacidade institucional local.

1.4. Impactos ambientais e sociais do comércio de resíduos

O comércio internacional de resíduos apresenta uma dualidade de perspectivas, pois gera benefícios econômicos vinculados à reciclagem e à reinserção de materiais em cadeias produtivas, mas também desperta graves preocupações socioambientais. Diversos estudos apontam que a importação desses materiais pode resultar em problemas ecológicos severos devido à gestão inadequada de resíduos perigosos (Pellow, 2007; O'Neill, 2019; Brooks; Wang; Jambeck, 2018). Em muitos cenários, o processamento em condições precárias causa contaminação e riscos à saúde das populações locais por exposição a substâncias tóxicas, assimetrias analisadas pela literatura sobre justiça ambiental ao examinar a distribuição desigual de danos ecológicos globais (Lundgren, 2012; Breivik *et al.*, 2014).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Nesse sentido, Clapp (2001) argumenta que o comércio de resíduos reproduz desigualdades globais ao transferir riscos para países com menor capacidade regulatória e institucional. Esse fenômeno é descrito como "*dumping ambiental*", no qual resíduos potencialmente perigosos são exportados para nações com regulamentações menos rigorosas para reduzir custos de tratamento em detrimento da segurança local. Além disso, estudos recentes destacam que o dinamismo desse mercado contribui para novos cenários de risco (O'Neill, 2019). Mudanças nas políticas de grandes players provocam reconfigurações significativas nas redes globais, deslocando subitamente os fluxos para novas regiões (Brooks; Wang; Jambeck, 2018) e pressionando países despreparados institucionalmente para lidar com o volume ou a periculosidade dos materiais recebidos (Sands, 1997; De Oliveira *et al.*, 2023).

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como qualitativa e baseia-se em uma revisão semi-sistemática da literatura para sintetizar evidências e identificar lacunas sobre importação de resíduos em contextos portuários e de sustentabilidade empresarial. Diferente de revisões sistemáticas, essa abordagem usa buscas direcionadas e análise interpretativa com métodos flexíveis adequados a temas emergentes como fluxos transfronteiriços e indicadores operacionais (Wong *et al.*, 2016; Snyder, 2019). A revisão foi feita de forma estruturada para reunir contribuições da literatura internacional sobre as dinâmicas econômicas, institucionais e ambientais desse comércio além de identificar referenciais conceituais e instrumentos úteis para entender os desafios de monitoramento e controle da importação de resíduos.

2.1. Protocolo de busca e seleção

O delineamento metodológico segue os princípios da revisão semi-sistemática propostos por Wong *et al.* (2016), combinando critérios de seleção previamente definidos com uma exploração temática iterativa. A estratégia de pesquisa contemplou três bases de dados científicas: *Scopus, Web of Science* e *Google Scholar*, selecionadas em razão de sua abrangência e relevância na indexação da produção acadêmica relacionada à economia ambiental, governança, políticas públicas e gestão de resíduos. O recorte temporal compreendeu publicações entre 2016 e 2026, abrangendo o contexto regulatório posterior à política *National Sword*, da China, e os avanços recentes nas abordagens de modelagem da eficiência portuária.

As buscas foram realizadas em março de 2026, mediante operadores booleanos que combinaram três eixos conceituais: comércio de resíduos, regulação e gestão portuária. Conforme apresentado no Quadro 1, foram utilizadas as seguintes *strings*: *"waste trade" AND*

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

"environmental regulation" AND "circular economy"; *"transboundary movement" AND "solid waste" AND "indicators"*; e *"port management" AND "sustainability" AND "Basel Convention"*. Nas bases *Scopus* e *Web of Science*, as buscas foram restritas aos campos de título, resumo e palavras-chave (*Title, Abstract, Keywords*). No *Google Scholar*, os termos foram pesquisados no texto completo, sendo considerados os primeiros 100 resultados classificados por relevância, como estratégia para reduzir o ruído da busca e manter a viabilidade da análise do *corpus*.

Quadro 1. Estratégia de busca da revisão de literatura

Elemento	Descrição
Tema da busca	Comércio internacional de resíduos e mecanismos de governança e controle da importação de resíduos
Objetivo da busca	Identificar e analisar a literatura científica sobre as dinâmicas econômicas, institucionais e ambientais do comércio internacional de resíduos, com foco em governança, regulação e controle dos fluxos transfronteiriços
Bases de dados consultadas	*Scopus; Google Scholar; Web of Science*
Período de busca	Publicações entre 2016 e 2026
Tipo de documentos	Artigos científicos revisados por pares, com acesso aberto
Idiomas	Inglês e português
Palavras-chave (estratégia de combinação)	Utilização de operadores booleanos para combinar termos: *"waste trade" AND "environmental regulation" AND "circular economy" "transboundary movement" AND "solid waste" AND "indicators" "port management" AND "sustainability" AND "Basel Convention"*
Procedimento de seleção	Leitura de título, resumo e palavras-chave para identificar relevância ao tema
Etapa final de seleção	Leitura completa dos estudos selecionados e extração das principais contribuições teóricas

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

O processo de seleção bibliográfica foi organizado em etapas sequenciais e quantificáveis, com o objetivo de assegurar transparência, rigor e reprodutibilidade. Na etapa de identificação, as buscas nas três bases resultaram em 185 registros. Os arquivos foram importados para o *Mendeley* para identificação automatizada de duplicatas, seguida de conferência manual pelos autores para verificação de inconsistências. Esse procedimento resultou na exclusão de 42 duplicatas, totalizando 143 artigos para a triagem inicial.

Na etapa de triagem, os 143 artigos foram avaliados mediante leitura de títulos, resumos e palavras-chave. Foram incluídos: (a) artigos científicos revisados por pares e disponíveis em acesso aberto; (b) publicações entre 2016 e 2026; (c) estudos redigidos em inglês ou português; e (d) trabalhos que analisassem diretamente o comércio internacional de resíduos e a governança ambiental sob perspectivas econômicas, regulatórias ou institucionais. Foram excluídos livros, capítulos de livros, materiais de literatura cinzenta não revisados por pares,

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

publicações anteriores a 2016 sem relevância histórica, textos em outros idiomas sem tradução oficial e estudos restritos à gestão local de resíduos ou a aspectos exclusivamente técnicos do tratamento de materiais, sem relação direta com a governança portuária ou o comércio transfronteiriço.

A aplicação desses critérios resultou na exclusão de 98 artigos, de modo que 45 estudos avançaram para a etapa de elegibilidade. Nessa fase, realizou-se a leitura integral dos textos, após a qual 18 artigos foram excluídos por abordarem exclusivamente aspectos operacionais internos da atividade portuária, sem interface com o comércio transfronteiriço de resíduos, ou por apresentarem fundamentação empírica ou teórica insuficiente para a análise da governança de fronteiras.

Ao final do processo, foram selecionados 27 artigos, que constituíram o *corpus* da análise qualitativa e da categorização temática. A opção por restringir a seleção a artigos revisados por pares e disponíveis em acesso aberto buscou assegurar a possibilidade de consulta e escrutínio da produção científica por pesquisadores e formuladores de políticas públicas. Reconhece-se, contudo, que esse critério pode introduzir viés de disponibilidade. Para reduzir essa limitação, foram consultadas três bases de dados de ampla abrangência, buscando ampliar a cobertura da literatura pertinente ao período analisado.

2.1.1. Literatura de apoio

Cabe ressaltar que a delimitação temporal de 2016 a 2026 foi aplicada rigorosamente para a seleção do *corpus* analítico dos 27 estudos que compõem a revisão semi-sistemática e a categorização temática, uma vez que esse intervalo captura a inflexão regulatória da política *National Sword* (2017) e os desenvolvimentos mais recentes de modelagem de dados portuários. Por sua vez, as obras publicadas anteriormente a 2016 identificadas na revisão (como Copeland, 1991; Kummer, 1995; Clapp, 2001; Pellow, 2007) foram mobilizadas de forma isolada, atuando exclusivamente como literatura de apoio teórico e conceitual na Introdução e no Referencial Teórico. Essa distinção foi estabelecida para delimitar de maneira inequívoca as bases conceituais históricas da pesquisa em relação aos dados empíricos contemporâneos analisados de forma qualitativa e quantitativa neste estudo.

2.2. Análise de conteúdo

A análise de conteúdo do *corpus* constituiu a etapa central da pesquisa para organizar, classificar e interpretar o conhecimento sobre importação de resíduos e fluxos transfronteiriços, identificando padrões, tendências e lacunas. O procedimento alinhou-se aos princípios qualitativos e interpretativos recomendados para revisões semi-sistemáticas (Snyder, 2019).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

O processo analítico iniciou-se com a leitura integral do corpus para codificação dedutiva baseada em cinco categorias conceituais iniciais de governança e economia global. No entanto, o exame detalhado dos 27 artigos por meio de análise de conteúdo dirigida (Hsieh; Shannon, 2005) demandou um refinamento indutivo para melhor representar a produção científica atual. Esse refinamento resultou no desdobramento das categorias conceituais iniciais em seis clusters temáticos mais específicos, dividindo eixos amplos em dimensões operacionais, tecnológicas e humanas tangíveis (conforme explicitado na Tabela 1).

Tabela 1. *Clusters* temáticos da matriz

Cluster	Exemplos Principais (Autores)	Lacuna Dominante	Prevalência dos Estudos
Eficiência Portuária e Otimização Operacional	Castellano *et al.* (2020); Pereira *et al.* (2025); Chen *et al.* (2025); Chen *et al.* (2026)	Avaliação ambiental-operacional fragmentada	4/27
Fluxos Globais e Economia Circular	Qu *et al.* (2019); Wang *et al.* (2020); Sun e Tabata (2021); Liu *et al.* (2023); Bonamigo *et al.* (2023); Compagnoni *et al.* (2025)	Impactos em redes transfronteiriças subestimados	7/27
Governança Verde e Estratégias ESG	Jugović *et al.* (2022); Campisi *et al.* (2022); Galvão *et al.* (2025); Makkawan *et al.* (2025); Satta *et al.* (2025)	Marcos ESG padronizados ausentes	5/27
Modelagem Preditiva e Sistemas de Avaliação de Desempenho	Molina-Serrano *et al.* (2018a); Molina-Serrano *et al.* (2018b); Johansen *et al.* (2021); Pedersini *et al.* (2022); Zhang *et al.* (2022)	Modelos de avaliação excessivamente subjetivos	5/27
Inovação Tecnológica e Governança Digital (Smart Ports)	Li *et al.* (2018); Cavalli *et al.* (2021); Kang e Park (2026)	Integração tecnológica prática limitada	3/27
Barreiras Sistêmicas e Capacitação de Capital Humano	Katuwawala *et al.* (2022); Lopes *et al.* (2025); Duc e Nguyen (2026)	Desalinhamento de capacitação profissional	3/27

Fonte: elaborado pelos autores (2026)

Na sequência, os estudos foram organizados em eixos temáticos para mapear a distribuição da produção científica, as perspectivas predominantes e os recortes metodológicos. Essa análise geográfica constatou uma concentração expressiva de pesquisas na Europa e na Ásia, evidenciando que a produção científica na América do Sul ainda é incipiente, sobretudo em modelos adaptados de fiscalização e controle. Durante a análise, buscou-se também identificar, em cada estudo, as principais evidências empíricas levantadas, as contribuições teóricas

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

apresentadas e, sobretudo, as lacunas e limitações apontadas ou percebidas pelos próprios autores. Isso foi fundamental para construir um diagnóstico preciso do estado da arte, permitindo verificar onde o conhecimento já está consolidado e quais são as necessidades, desafios e oportunidades para avanços teóricos e práticos.

Visando garantir a confiabilidade analítica, a codificação e classificação dos artigos nos *clusters* foi realizada de forma independente por dois pesquisadores. As ocasionais discrepâncias de classificação foram discutidas e resolvidas por consenso em painel conjunto com a participação de um terceiro pesquisador sênior, que atuou como árbitro final. Para validar estatisticamente este procedimento de classificação, aplicou-se o teste de confiabilidade intercodificadores (Kappa de Cohen), atingindo o índice de 0,88 (considerado excelente), o que atesta a alta consistência interna e valida a estruturação da matriz de *clusters* apresentada.

A análise de frequências das metodologias empregadas evidencia um predomínio marcante de abordagens baseadas em modelos quantitativos (como redes *bayesianas*, análise por envoltória de dados e teoria dos grafos) em 18 de 27 estudos selecionados (66,7%). Em contrapartida, investigações que abordam especificamente a integração e os entraves da fiscalização portuária e aduaneira nas fronteiras (eixo central e lacuna que motiva este estudo) são mapeadas em apenas 4 de 27 trabalhos (14,8%), confirmando que a aplicação prática desses preceitos regulatórios ainda se encontra em estágio incipiente na literatura.

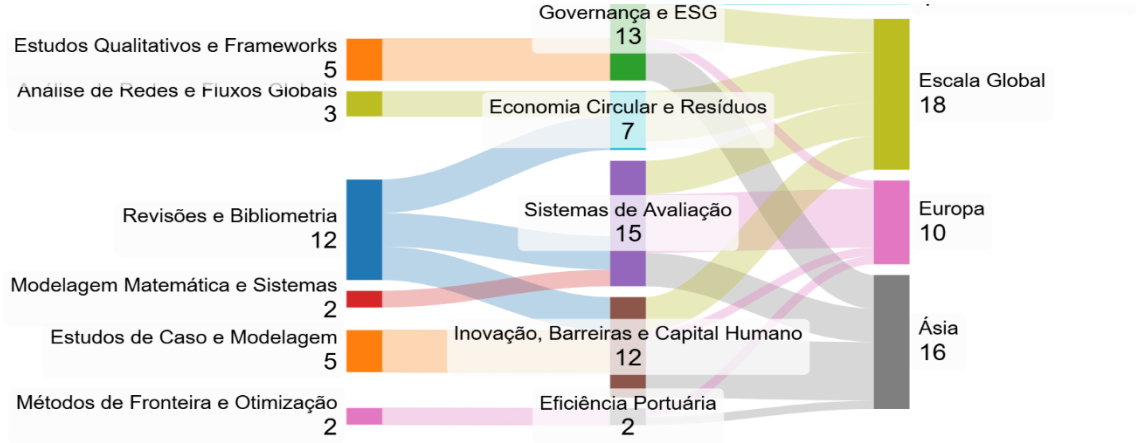
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A inclusão de estudos focados em eficiência portuária geral, modelagem DEA (*Data Envelopment Analysis*), *smart ports* e otimização operacional no corpus desta revisão justifica-se por uma premissa de transposição metodológica. Uma vez que os portos operam como os principais pontos de estrangulamento (*chokepoints*) e barreiras físicas dos fluxos transfronteiriços de resíduos, o controle aduaneiro e ambiental não pode ser analisado de forma isolada de sua infraestrutura logística. As ferramentas de otimização operacional, as tecnologias de inteligência artificial de portos inteligentes e os modelos de mensuração de eficiência baseados em DEA oferecem a arquitetura operacional e os fluxos de dados necessários sobre os quais os indicadores de monitoramento de resíduos podem ser implantados. Assim, a literatura de sustentabilidade portuária geral não é aqui tratada de forma desconexa, mas sim como o arcabouço tecnológico e de governança indispensável para que as alfândegas possam operacionalizar, na prática, a triagem preventiva de passivos ambientais sem comprometer a eficiência comercial das cadeias logísticas globais.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A análise inicial dos 27 artigos selecionados permitiu mapear o perfil da produção científica sobre gestão portuária sustentável. Para caracterizar esse perfil, a Figura 1 ilustra o fluxo e as interconexões entre as abordagens metodológicas adotadas, os eixos temáticos explorados e as regiões geográficas de foco das pesquisas. O mapeamento visual demonstra, por exemplo, que métodos de fronteira, como a Análise Envoltória de Dados (DEA), estão fortemente conectados ao eixo de eficiência eco-ambiental em portos europeus e asiáticos, sendo esses métodos, juntamente com técnicas de otimização matemática, os principais adotados nos estudos sobre eficiência operacional e ambiental.

Figura 1. Mapeamento da literatura em gestão portuária sustentável: interconexões entre abordagens metodológicas, eixos temáticos e regiões geográficas



Fonte: elaborado pelos autores (2026)

Por outro lado, as investigações voltadas para a economia circular e o comércio de resíduos, que tratam de fluxos globais, apoiam-se majoritariamente em análises de redes complexas e revisão de literatura. Além disso, o fluxo do diagrama revela uma clara assimetria na aplicação territorial desses estudos: há uma concentração expressiva de pesquisas focadas na Europa e em modelagens de escala transnacional, seguidas pela Ásia, enquanto a América do Sul permanece sub-representada, limitando-se a investigações pontuais sobre a maturidade de práticas ESG realizadas no Brasil.

3.1. Reconfiguração dos fluxos globais

Os resultados da análise bibliográfica mostram que o comércio internacional de resíduos atravessa uma inflexão estrutural deflagrada pela política chinesa *National Sword*. Esta medida

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

desencadeou uma reorganização abrupta dos fluxos globais, expondo fragilidades críticas na governança ambiental transnacional. A literatura converge ao apontar que a antiga centralidade da China foi substituída por uma rede difusa e instável, caracterizada por redistribuições geográficas voláteis e pela ampliação das assimetrias regulatórias entre as nações. Esse fenômeno consolida o que a teoria denomina como “paraísos de poluição” (*pollution havens*), onde o deslocamento do dano ambiental para regiões de baixa fiscalização reitera a urgência de instrumentos sólidos de monitoramento e avaliação da capacidade institucional dos países receptores.

A restrição chinesa reconfigurou os fluxos globais de resíduos ao deslocar de forma massiva as exportações do Norte Global para economias em desenvolvimento do Sudeste Asiático, como Malásia, Tailândia e Vietnã. Esse redirecionamento ocorreu de maneira desordenada, fazendo com que nações de baixa e média renda assumissem um papel central na cadeia de reciclagem mesmo sem a infraestrutura necessária e sob severas limitações institucionais (Gao; Li; Qin, 2025). Somado a isso, as pesquisas de Zhang (2022) e Sommer (2024) demonstram que esse movimento gerou efeitos de transbordamento transfronteiriços e intrarregionais. Esse processo acabou por agravar a dispersão espacial da poluição em territórios que antes se encontravam preservados.

No plano ambiental, a literatura aponta que o redirecionamento geográfico dos fluxos agrava o impacto climático, pois a transferência de resíduos para nações com processamento incipiente e matrizes energéticas intensivas em carbono gera emissões adicionais e eleva o risco de descarte inadequado. As evidências de Akbulut-Yuksel, Zhang e Zhou (2025) associam as mudanças nos padrões de importação a aumentos locais na poluição hídrica. Complementarmente, Thakur (2026) demonstra que restrições unilaterais redistribuem internacionalmente a poluição em vez de reduzi-la, o que consolida a lógica do impacto ambiental transacional, no qual os custos ecológicos são deslocados pelas cadeias globais de valor.

Ademais, a ausência de uma harmonização regulatória global corrobora a hipótese do *pollution haven*, estimulando a exportação de passivos para jurisdições de menor rigor ambiental. Seraj (2026) argumenta que a globalização e as lacunas institucionais facilitam essa transferência, enquanto Gao, Li e Qin (2025) evidenciam que choques regulatórios em grandes economias geram severos efeitos indiretos em nações com fiscalização frágil. Esse cenário é agravado pela falta de métricas padronizadas para aferir a capacidade de gestão dos países receptores, permitindo que os fluxos globais sejam arbitrados por custos econômicos imediatos em detrimento de critérios de sustentabilidade.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Em última análise, a literatura mostra uma lacuna central na governança global: a falta de sistemas integrados que unam, em uma mesma análise, o volume, a periculosidade e o rastreamento dos materiais. Essa fragilidade é agravada por uma tecnologia portuária desigual e por cadeias de transporte cada vez mais difíceis de fiscalizar, fatores que prejudicam a aplicação de qualquer regra. Diante desse cenário, os estudos analisados confirmam que a redução dos riscos ambientais não depende apenas de leis, mas da criação de ferramentas capazes de acompanhar os fluxos em tempo real e de usar indicadores mais próximos da realidade local. Promover a transparência e o uso de dados nas transações internacionais torna-se, portanto, o caminho essencial para que a mudança no comércio de resíduos deixe de ser um problema e passe a fazer parte de uma economia circular ética e eficiente.

3.2. Geopolítica dos resíduos e mineração urbana na economia circular

A literatura recente aponta para uma mudança na maneira como o sistema econômico enxerga os resíduos: eles deixam de ser vistos apenas como um problema ambiental para se tornarem ativos estratégicos dentro da economia circular. De modo geral, os estudos mostram que essa transformação está ligada à geopolítica dos recursos e à busca por matérias-primas essenciais, além do avanço de regras como a Responsabilidade Estendida do Produtor (EPR). Nesse cenário, o comércio internacional de resíduos deixa de ser um simples canal de descarte e passa a garantir o suprimento de materiais para as economias industrializadas, especialmente aquelas que sofrem com a falta de recursos naturais próprios.

As regras de responsabilidade estendida do produtor (EPR) e as políticas de economia circular têm direcionado o fluxo global de resíduos complexos, como baterias de lítio, para nações com infraestrutura avançada e especializada na recuperação eficiente de metais valiosos (Compagnoni *et al.*, 2025; Moïsé; Rubínová, 2023). Contudo, esse comércio internacional de baterias usadas impõe desafios regulatórios complexos, exigindo a harmonização de leis ambientais, industriais e de transporte entre diferentes países (Dong; Sun; Hao, 2025).

Nesse cenário, consolida-se a “mineração urbana” — a recuperação de materiais descartados nas cidades para substituir a extração mineral tradicional. Diante disso, muitos países passaram a importar resíduos de forma estratégica para assegurar o suprimento de metais raros para suas indústrias (Ilyas; Kim; Srivastava, 2021; Pimenow *et al.*, 2026), uma vez que o avanço tecnológico converteu sucatas eletrônicas e baterias em fontes reais de valor econômico integradas às cadeias de suprimento globais (Buisson *et al.*, 2024; Mohamed *et al.*, 2025).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A organização geográfica das pesquisas (Quadro 2) mostra que a Ásia continua sendo o centro das mudanças nas leis e nos fluxos de plástico. Por outro lado, a Europa e países como Japão e Coreia do Sul lideram o uso de tecnologia e a eficiência na fiscalização dos portos. No caso do Brasil, o grande desafio é adaptar esses indicadores internacionais à realidade brasileira. O objetivo é garantir que a importação desses materiais valiosos seja feita com segurança, evitando que a falta de monitoramento transforme o que deveria ser um recurso estratégico em um novo problema ambiental.

Quadro 2. Mapeamento geográfico dos estudos

Região geográfica	Autores / Fonte	Foco da investigação e eixo temático
Europa (Itália, Espanha, Noruega e Portugal)	Castellano *et al.* (2020); Cavalli *et al.* (2021); Campisi *et al.* (2022); Satta *et al.* (2025)	**Eixos 1, 3 e 5:** Eficiência eco ambiental (DEA), Governança Verde (parcerias locais e *stakeholders*) e Inovação tecnológica (5G) aplicadas especificamente aos portos italianos (como Livorno, Ravenna e Gênova).
	Pereira *et al.* (2025); Lopes *et al.* (2025)	**Eixos 1 e 6:** Otimização de atracação e redução de emissões no Porto de Leixões, e análise do capital humano logístico com mapeamento de competências demandadas em Portugal.
	Molina-Serrano *et al.* (2018a, 2018b); Johansen *et al.* (2021)	**Eixo 4:** Modelagem de incertezas usando redes *bayesianas* no sistema portuário da Espanha e aplicação de sistema de avaliação orientado a portos de cruzeiros de Geiranger, na Noruega.
Ásia (China, Coreia do Sul, Japão, Tailândia e Vietnã)	Zhang *et al.* (2022); Chen *et al.* (2025)	**Eixos 1 e 4:** Eficiência ambiental nas zonas econômicas especiais e avaliação com indicadores objetivos do uso de recursos da linha costeira em portos da China.
	Li *et al.* (2018); Kang e Park (2026)	**Eixo 5:** Estudos na Coreia do Sul com foco na conectividade da malha ferroviária sustentável e em soluções de energia inteligente no porto de Yeosu.
	Chen *et al.* (2026); Makkawan *et al.* (2025)	**Eixos 1 e 3:** Perspectivas de eficiência para portos verdes (terminais de contêineres) no Japão e construção de um quadro de indicadores ESG para portos na Tailândia.
	Duc e Nguyen (2026)	**Eixo 5:** Classificação das barreiras para o desenvolvimento de portos verdes utilizando especialistas asiáticos locais.
América do Sul (Brasil)	Galvão *et al.* (2025)	**Eixo 3:** Mapeamento de melhores práticas ESG (a tipologia dos “6 Ps”) adaptadas à complexidade dos arranjos litorâneos e das autoridades portuárias no Brasil.
Escala Global e Transnacional	Qu *et al.* (2019); Wang *et al.* (2020); Sun e	**Eixo 2:** O foco é a Economia Circular de escala planetária; as análises investigam as redes

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

(Redes, Bibliometria e Comércio Mundial)	Tabata (2021); Liu *et al.* (2023); Compagnoni *et al.* (2025)	globais e transfronteiriças de comércio de resíduos plásticos/baterias, e os abalos causados pelo banimento de importação da China.
	Jugović *et al.* (2022); Pedersini *et al.* (2022); Bonamigo *et al.* (2023); Katuwawala *et al.* (2022)	**Eixos 3, 4 e 5:** Estudos de levantamento global (como metanálises bibliométricas mundiais e de dados da literatura) investigando lacunas da implementação Lean 4.0, de modelos globais de Governança Verde e de Sistemas de Avaliação de Desempenho.

Legenda: Eixo 1: eficiência portuária, otimização e sustentabilidade operacional; Eixo 2: economia circular, comércio global de resíduos e transição logística; Eixo 3: governança verde, estratégias ESG e relacionamento com stakeholders; Eixo 4: sistemas de avaliação de desempenho e modelagem de incertezas; Eixo 5: barreiras sistêmicas, transição energética, inovação e competências humanas
Fonte: elaborado pelos autores (2026).

A literatura demonstra que os benefícios da economia circular variam conforme o valor do material, visto que resíduos nobres possuem cadeias lucrativas e organizadas, ao passo que os de baixo valor, como plásticos mistos, operam em fluxos opacos e de risco ambiental. Essa disparidade demanda regulamentações específicas que equilibrem viabilidade econômica e proteção ecológica, evitando que normas genéricas aprofundem as desigualdades do sistema (De Sa; Korinek, 2021). Ademais, a facilidade na exportação de resíduos pode desincentivar a ecoinovação e perpetuar padrões de consumo lineares (Xavier; Ottoni; Lepawsky, 2021; Maphosa; Maphosa, 2024). Esse cenário reforça que a efetividade da economia circular vai além do desenvolvimento tecnológico, dependendo de estruturas integradas de monitoramento, padrões globais e rastreabilidade total para mitigar barreiras socioambientais.

3.3. A necessidade de um modelo de indicadores de importação

A carência de instrumentos práticos de fiscalização decorre, em grande parte, da dificuldade de integrar dados de naturezas distintas em um único sistema de decisão. Atualmente, a fiscalização baseia-se em critérios isolados que nem sempre refletem a real periculosidade dos materiais ou o histórico de conformidade das empresas envolvidas. Diante desse cenário, esta seção apresenta uma proposição de *framework* conceitual para um modelo de indicadores integrados, estruturando uma agenda de pesquisa aplicada para o cenário brasileiro, e não um modelo empiricamente validado nesta etapa. Reconhece-se que a transição de uma postura aduaneira reativa para um sistema preditivo e preventivo exige a articulação de variáveis complexas. Assim, a arquitetura conceitual aqui proposta visa articular os eixos ambiental, logístico e aduaneiro, servindo como ponto de partida metodológico para futuros testes empíricos e modelagens matemáticas baseadas em redes *bayesianas* ou lógica difusa

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

(*fuzzy logic*), permitindo que pesquisadores e autoridades portuárias estruturem bancos de dados voltados à análise de risco de *dumping* ecológico.

No campo da modelagem de dados, os estudos (Quadro 3) destacam o uso de ferramentas inteligentes, como as Redes *Bayesianas*, para lidar com incertezas e apoiar decisões em cenários complexos. Autores como Wang *et al.* (2025) e Cui, Wang e Xu (2023) mostram que essas técnicas são eficazes para criar modelos de avaliação de risco em portos, pois permitem unir diversas variáveis e atualizar as previsões sempre que surgem novas informações. Além disso, Loukakos (2014) reforça que qualquer sistema de análise de risco na alfândega precisa de monitoramento constante para funcionar bem. Apesar desses avanços, nota-se que tais modelos quase nunca são aplicados de forma direta à triagem de cargas de resíduos, ficando restritos a um nível teórico ou desconectados da realidade da fiscalização ambiental.

Quadro 3. Panorama da produção científica internacional

Eixo Temático 1: Eficiência portuária, otimização e sustentabilidade operacional		
Autores	**Contribuição Literária Principal**	**Lacuna Identificada**
Castellano *et al.* (2020); Chen *et al.* (2025); Chen *et al.* (2026)	Aplicam métodos de fronteira não paramétricos, fundamentalmente a *Data Envelopment Analysis* (DEA), para avaliar o nível de eficiência econômica, operacional e ambiental (incluindo emissões de CO2) em autoridades portuárias na Itália, China e Japão.	A literatura focava na eficiência puramente econômica e produtiva, negligenciando subprodutos indesejáveis como as emissões de CO2 e sub-representando a dinâmica dos portos asiáticos.
Pereira *et al.* (2025)	Propõe um modelo de Programação Linear Inteira Mista (MILP) para otimizar a atracação de navios, visando reduzir o tempo de espera e as emissões de gases de efeito estufa operacionais.	Modelos de otimização vigentes abordam a eficiência temporal ou o impacto ambiental como metas isoladas, carecendo de uma visão holística que integre a sustentabilidade à rotina operacional.
Eixo Temático 2: Economia circular, comércio global de resíduos e transição logística		
Autores	**Contribuição Literária Principal**	**Lacuna Identificada**
Qu *et al.* (2019); Wang *et al.* (2020); Sun e Tabata (2021); Liu *et al.* (2023); Compagnoni *et al.* (2025)	Mapeiam a formação, as trajetórias e o impacto da reestruturação da rede global de comércio de plásticos e baterias, analisando emissões do ciclo de vida, sanções como o veto chinês e a imposição da Responsabilidade Estendida do Produtor (EPR).	Falta de estudos quantitativos de larga escala que mensurem como as legislações EPR e os vetos nacionais redesenham estruturalmente as redes globais e o impacto ambiental logístico transfronteiriço, indo além da eficácia interna de um único país.
Bonamigo *et al.* (2023)	Associa de forma sistêmica o paradigma do modelo *Lean 4.0* com as premissas da Economia Circular	Necessidade de entender como as bases práticas da Indústria 4.0 unidas ao pensamento enxuto resolvem

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

	no ambiente portuário, identificando oportunidades para combater perdas e desperdícios operacionais com foco na preservação.	diretamente as barreiras de estruturação e implantação da cultura de economia circular no setor.
Eixo Temático 3: Governança verde, estratégias ESG e relacionamento com *stakeholders*		
Autores	**Contribuição Literária Principal**	**Lacuna Identificada**
Jugović *et al.* (2022); Campisi *et al.* (2022); Satta *et al.* (2025)	Estabelecem marcos conceituais (como as Parcerias Integradas Localmente e o quadro DPSIR) orientados à Governança Verde. Identificam as estratégias de sustentabilidade a partir das teorias de *stakeholders* e de modelos de engajamento social que favorecem a Responsabilidade Social Corporativa.	A literatura apresenta uma fragmentação metodológica e um viés acadêmico isolado; faltam diretrizes e modelos empíricos capazes de integrar as expectativas dos múltiplos *stakeholders* e unificar a academia, o poder local e a indústria em cocriações sustentáveis.
Galvão *et al.* (2025); Makkawan *et al.* (2025)	Estruturam guias comparativos e tipologias (como os "6 Ps") voltados à consolidação da maturidade e práticas baseadas nos preceitos ESG (Ambiental, Social, Governança), desenhando jornadas inter-relacionadas para os portos do Brasil e da Tailândia.	As dimensões do desenvolvimento sustentável são frequentemente trabalhadas de maneira avulsa. Ausência de referenciais ESG padronizados, formalizados e adaptáveis às complexidades regulatórias e dinâmicas dos arranjos público-privados nestes países.
Eixo Temático 4: Sistemas de avaliação de desempenho e modelagem de incertezas		
Autores	**Contribuição Literária Principal**	**Lacuna Identificada**
Molina-Serrano *et al.* (2018a); Molina-Serrano, González-Cancelas e Soler-Flores (2018b)	Desenvolvem modelos probabilísticos de Inteligência Artificial usando Redes *Bayesianas* direcionadas para inferir os condicionantes do desenvolvimento sustentável, revelando a forte predominância do vetor institucional sobre os demais.	O elevado volume de informações complexas de gestão torna inadequado o uso de abordagens estáticas, evidenciando a necessidade de ferramentas que consigam modelar as incertezas de modo probabilístico.
Johansen *et al.* (2021); Pedersini *et al.* (2022); Zhang *et al.* (2022)	Validam métodos estruturados sob bases puramente objetivas (Teoria da Entropia da Informação) ou com a visão sistêmica contínua (*Systems Thinking*), úteis à avaliação das dinâmicas litorâneas e de atritos com navios de cruzeiros.	O desenvolvimento de Sistemas de Avaliação de Desempenho na área é frequentemente viciado por modelos genéricos sem conexão com os *stakeholders*, com alinhamento escasso com a estratégia corporativa interna ou inflacionado pela subjetividade de avaliadores.
Eixo Temático 5: Barreiras sistêmicas, transição energética, inovação e competências humanas		
Autores	**Contribuição Literária Principal**	**Lacuna Identificada**
Li *et al.* (2018); Cavalli *et al.*	Quantificam como tecnologias disruptivas (telecomunicações 5G, energia limpa e conectividade	Carência de estruturas que demonstrem como conciliar, simultaneamente, os impactos diretos

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

(2021); Kang e Park (2026)	ferroviária) ancoram uma logística descarbonizada e resiliente.	da alta tecnologia com as diferentes áreas da logística interior, para a formulação viável da neutralidade de carbono a curto e longo prazo.
Katuwawala *et al.* (2022); Lopes *et al.* (2025); Duc e Nguyen (2026)	Classificam e ranqueiam os fatores que obstruem o avanço de portos verdes, utilizando modelagem neutrosófica-fuzzy e entrevistas de campo para expor restrições financeiras e moldar as competências críticas demandadas da gestão.	Adoção generalizada de abordagens tradicionais que simplificam a origem dos problemas corporativos, somada ao vazio crítico entre o currículo acadêmico e as habilidades complexas exigidas pelas transições logísticas reais.

Fonte: elaborado pelos autores (2026)

Apesar de modelos como a taxonomia 9R e a logística reversa, a aplicação da economia circular nos portos é restrita pela falta de integração com os sistemas de controle, dificultando a avaliação do potencial de reciclagem das cargas e demandando monitoramento em tempo real. No cenário internacional, persistem falhas graves na classificação de resíduos mesmo após a Emenda de Plásticos da Convenção da Basileia. Essa fragilidade regulatória, evidenciada após o banimento chinês, estimula a transferência de fluxos para países com normas menos rigorosas (Qu *et al.*, 2019). Adicionalmente, lacunas normativas geram “zonas cinzentas” que confundem autoridades e fomentam o comércio ilegal (Khan, 2020; Kopsick, 2011), panorama agravado pela ausência de padrões globais de monitoramento que torna os controles nacionais desiguais e vulneráveis.

Quanto à eficiência portuária, estudos recentes buscam incorporar externalidades negativas, como a poluição, mas os modelos permanecem rígidos e desatualizados frente às rápidas mudanças aduaneiras e novos perfis de risco. Os indicadores tradicionais focam majoritariamente na logística e negligenciam os riscos ambientais, limitando a utilidade das métricas em fiscalizações integradas (Durán *et al.*, 2026; Pehlivan *et al.*, 2024). Diante dessa lacuna, a literatura reforça a necessidade de sistemas que unam as dimensões regulatória, operacional e ambiental. A formulação de um modelo de indicadores surge para converter essa teoria em ferramenta prática no cotidiano portuário, pois a inclusão de métricas de risco e rastreamento fortalece o controle de fronteiras, confere transparência aos fluxos e alinha a gestão ecológica às práticas alfandegárias para uma fiscalização eficiente e sustentável.

3.4. Síntese das lacunas e agenda de pesquisa futura

Para consolidar os achados desta revisão, o Quadro 4 sintetiza o estado da arte da literatura em seis *clusters* temáticos, contrastando as principais contribuições empíricas com as lacunas dominantes que ainda limitam o setor.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Quadro 4. Síntese dos resultados da revisão

Eixo Temático	Contribuições / *Insights* (O que já foi alcançado)	Lacunas (O que ainda precisa ser preenchido)
Eficiência Portuária e Operações Inteligentes	**Otimização via Modelagem Matemática (MILP) e 5G:** • 47,5% de redução no tempo de espera de navios através de Programação Linear Inteira Mista em modelos de agendamento. • 41,8% de redução nas emissões de gases de efeito estufa. **5G como Elo entre ODS e KPIs:** Em Livorno, automação de guindastes e monitoramento de leito marinho conectando produtividade aos ODS da ONU.	**Lacuna: Modelos de Objetivo Único** • Foco limitado apenas em performance operacional ou ambiental de forma isolada, negligenciando a variabilidade. **Lacuna: Variáveis Dinâmicas Imprevisíveis** • Falha na incorporação de dados em tempo real sobre condições meteorológicas, marés e falhas mecânicas inesperadas.
Economia Circular e Comércio de Resíduos	**O Impacto do Banimento Chinês de 2017:** • Proibição de 24 tipos de resíduos sólidos forçou a reconfiguração global da economia circular. **Mineração Urbana e Recuperação de Recursos:** • Potencial nos portos para transformar resíduos em matérias-primas industriais, aliviando a escassez.	**Lacuna: "Paraísos de Poluição"** • Países em desenvolvimento sem regulamentações rígidas tornam-se destinos para resíduos, criando injustiça ambiental. **Lacuna: Capacidade de Reciclagem Doméstica** • Países desenvolvidos com falta de infraestrutura de curto prazo para processar o lixo que antes era exportado.
Governança ESG e Parcerias Locais	**Transição para a "Nova Governança":** • Evolução do modelo *Landlord Port* para governanças baseadas em transparência, co-criação e Parcerias Integradas Localmente (LIP). **Guia ESG 2023 para Portos Brasileiros:** • Iniciativa pioneira estruturando práticas em 6 categorias: Políticas, Planos, Programas, Projetos, Processos e Parceiros.	**Lacuna: Indicadores ESG Fragmentados** • Dimensões ambiental, social e de governança tratadas isoladamente. **Lacuna: Resistência a Indicadores Genéricos** • *Stakeholders* ignoram modelos de avaliação com indicadores genéricos que não refletem a singularidade de cada porto.
Modelagem Preditiva e Inteligência Artificial	**Redes Bayesianas para Incerteza:** • Permitem prever a sustentabilidade portuária mesmo com alta imprecisão de dados e variáveis complexas.	**Lacuna: Validação de Relações Causais** • Necessidade de Modelagem de Equações Estruturais (SEM) para confirmar a influência estatística entre as dimensões ESG.
Inovação e Capital Humano	**Do "Braço" para a "Habilidade":** • Automação exige a transição da força de trabalho de competências	**Lacuna: Escassez de Talentos Digitais**

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

	manuais para habilidades digitais e analíticas avançadas. **Modelo de Hélice Tríplice:** • Sucesso da inovação depende da cooperação sistêmica entre Indústria, Academia e Governo.	• Gap crítico entre a tecnologia disponível (IA, IoT, *Blockchain*) e a capacitação real dos profissionais. **Lacuna: Barreiras Financeiras em Portos Pequenos** • Terminais menores enfrentam dificuldades para investir em automação devido ao alto custo inicial e falta de financiamento.

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Embora a literatura avance no uso da Análise Envoltória de Dados (DEA), predomina uma avaliação ambiental-operacional fragmentada que ignora subprodutos indesejáveis nas métricas portuárias tradicionais. Na esfera institucional, a ausência de marcos ESG padronizados e integrados aos múltiplos *stakeholders* dificulta a governança e o planejamento de longo prazo. Esse cenário evidencia que a transição para portos verdes requer superar abordagens isoladas por meio de um modelo ecossistêmico e holístico de gestão.

Os entraves da gestão portuária global ultrapassam a eficiência operacional, abrangendo complexidades metodológicas, socioambientais e tecnológicas. Sob a ótica analítica, modelos unifuncionais e indicadores ESG fragmentados comprometem a compreensão sistêmica da sustentabilidade, demandando ferramentas estatísticas avançadas, como a Modelagem de Equações Estruturais (SEM), para validar relações causais em tempo real. Paralelamente, assimetrias regulatórias e de infraestrutura geram “paraísos de poluição” decorrentes do comércio transfronteiriço de resíduos, um quadro agravado pela baixa capacidade de reciclagem nos países de origem e por restrições orçamentárias em portos menores. Por fim, a consolidação desse ecossistema inteligente enfrenta um *déficit* de capital humano qualificado, estabelecendo um descompasso estrutural entre as tecnologias disruptivas e a capacitação dos profissionais do setor.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão semi-sistemática da literatura permitiu compreender que o comércio global de resíduos atravessa uma transformação estrutural, impulsionada pela reorganização geopolítica dos fluxos transfronteiriços após a política *National Sword* adotada pela China. Os estudos analisados apresentam evidências compatíveis com os pressupostos da hipótese dos paraísos de poluição, demonstrando que assimetrias normativas e institucionais favorecem a transferência de encargos ambientais de economias de elevado consumo para países em desenvolvimento,

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

notadamente no Sudeste Asiático. Essa circulação não reduziu os impactos ecológicos globais e provocou efeitos adversos nas regiões de destino, como a contaminação hídrica, o aumento de emissões de gases de efeito estufa por processamentos ineficientes e a disseminação de poluentes.

O estudo também identificou uma distinção conceitual na economia circular, coexistindo fluxos organizados para resíduos de alto valor comercial (como eletrônicos e baterias de lítio) e um circuito menos formalizado para materiais de baixo valor agregado (como plásticos mistos). Essa disparidade reflete limitações no arcabouço internacional vigente, visto que as diretrizes da Convenção da Basileia geram indefinições na classificação de materiais. Tais lacunas regulatórias e falhas de rastreabilidade reduzem a atuação das autoridades alfandegárias e abrem espaço para práticas irregulares, nas quais resíduos nocivos são legitimados como insumos produtivos. Diante de tais fragilidades, os sistemas atuais de controle alfandegário e de avaliação de desempenho mostram-se incapazes de responder preventivamente a esses riscos, uma vez que métodos preditivos e matemáticos, como redes bayesianas, permanecem restritos ao debate teórico.

Para superar essas limitações, a pesquisa demonstra a necessidade de estruturar um conjunto integrado de indicadores que una as dimensões ambiental, logística e alfandegária. A transição para portos verdes exige que as instalações portuárias assumam o papel de instâncias de controle e proteção ambiental. A adoção de critérios operacionais padronizados e atualizáveis é indispensável para acompanhar a cadeia, reduzir assimetrias informacionais, alinhar os princípios de sustentabilidade ao arcabouço legal e mitigar a entrada irregular de materiais prejudiciais.

Apesar das contribuições oferecidas para a governança ambiental global e gestão portuária, este estudo apresenta limitações metodológicas importantes que devem ser pontuadas. Primeiramente, a restrição a artigos científicos em acesso aberto (*open access*) pode introduzir um viés de disponibilidade, excluindo investigações relevantes protegidas por barreiras de pagamento (*paywalls*). Adicionalmente, a cobertura idiomática restrita a inglês e português limita o mapeamento de contribuições relevantes publicadas em outros idiomas, especialmente no Leste Asiático e na Europa Continental.

Do ponto de vista analítico, o corpus de 27 artigos caracteriza-se por uma elevada heterogeneidade de escopos e recortes, o que dificulta uma síntese quantitativa padronizada. Soma-se a isso a ausência de uma avaliação formal da qualidade metodológica das fontes (como escalas AMSTAR ou equivalentes aplicadas a estudos qualitativos), uma vez que o foco residiu no mapeamento temático das contribuições. A busca realizada via *Google Scholar*, embora

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

necessária para ampliar a capilaridade da pesquisa, possui vulnerabilidade ao viés de ordenamento algorítmico da plataforma. Por fim, o processo de codificação temática e agrupamento em *clusters*, ainda que validado pelo teste de confiabilidade Kappa de Cohen (0,88) e submetido à triangulação de pesquisadores, retém um caráter interpretativo inerente à análise de conteúdo dirigida, cujas categorizações podem variar sob diferentes perspectivas analíticas.

Diante de tais limitações, estabelece-se uma agenda para futuros trabalhos. Para tanto, recomenda-se a aplicação prática do conjunto de indicadores proposto em realidades portuárias diversas, com atenção especial às condições orçamentárias e institucionais de portos públicos e de gestão mista do Hemisfério Sul, incluindo o cenário brasileiro. Sugere-se, ainda, o desenvolvimento de pesquisas voltadas a modelos de gestão ecossistêmica e holística apoiados em tecnologias digitais e automação, capazes de qualificar a triagem de materiais, o gerenciamento de riscos aduaneiros e a detecção de irregularidades, fortalecendo a proteção ambiental nas fronteiras e a sustentabilidade do comércio global.

Agradecimento

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

AKBULUT-YUKSEL, M.; ZHANG, Z.; ZHOU, W. Navigating Cleaner Waters: Waste Import and Water Pollution. [S. l.]: **EconStor**, 2025. Disponível em: https://www.econstor.eu/handle/10419/319097.

BONAMIGO, A.; ARCANJO, P. O.; GONCALVES, M. J.; PEREIRA, N. N.; SILVEIRA, D. M. C. da. Lean 4.0 in port management: an alternative to support the development of the circular economy in the sector. **Acta Logistica**, v. 10, n. 2, p. 291-304, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.22306/al.v10i2.395.

BREIVIK, K. *et al.* Global e-waste trade: Better transitions or just shifting the burden? **Environmental Science & Technology**, v. 48, n. 12, p. 6735-6743, 2014.

BROOKS, A. L.; WANG, S.; JAMBECK, J. R**.** The Chinese import ban and its fate of next plastic waste. **Science Advances**, v. 4, n. 6, eaat0131, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1126/sciadv.aat0131.

BUISSON, E. *et al.* Recycling of critical minerals: strategies to scale up recycling and urban mining. Kiel: ZBW – **Leibniz Information Centre for Economics**, 2024. Disponível em: https://savearchive.zbw.eu/bitstream/11159/703242/1/1919773665_0.pdf.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

CAMPISI, T.; MARINELLO, S.; COSTANTINI, G. *et al.* Locally integrated partnership as a tool to implement a Smart Port Management Strategy: The case of the port of Ravenna (Italy). **Ocean and Coastal Management**, v. 224, p. 106179, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106179.

CASTELLANO, R.; FERRETTI, M.; MUSELLA, G.; RISITANO, M. Evaluating the economic and environmental efficiency of ports: Evidence from Italy. **Journal of Cleaner Production**, v. 271, p. 122560, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122560.

CAVALLI, L.; LIZZI, G.; GUERRIERI, L. *et al.* Addressing efficiency and sustainability in the port of the future with 5G: The experience of the Livorno port. A methodological insight to measure innovation technologies benefits on port operations. **Sustainability**, v. 13, n. 21, p. 12146, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su132112146.

CHEN, J. R.; CHOI, J. W.; SEO, Y. J. Environmental efficiency assessment of coastal ports in China: Implications for sustainable port management. **Marine Pollution Bulletin**, v. 211, p. 117436, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117436.

CHEN, J. R.; CHOI, N. Y. H.; CHOI, J. W.; SEO, Y. J. Evaluating efficiency and sustainability in Japanese container ports: Insights for green port management. **Research in Transportation Business and Management**, v. 65, p. 101592, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2025.101592.

CLAPP, J. Toxic exports: The transfer of hazardous waste from rich to poor countries. **Ithaca: Cornell University Press**, 2001.

COMPAGNONI, M.; GRAZZI, M.; PIERI, F.; TOMASI, C. Extended Producer Responsibility and Trade Flows in Waste: The Case of Batteries. **Environmental and Resource Economics**, v. 88, n. 1, p. 1-30, 2025. DOI: 10.1007/s10640-024-00907-5. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10640-024-00907-5.

COPELAND, B. R. International trade in waste products in the presence of illegal disposal. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 21, n. 2, p. 143-162, 1991. Disponível em: https://doi.org/10.1016/0095-0696(91)90047-M.

CUI, Z.; WANG, H.; XU, J. Risk Assessment Using Bayesian Networks and Entropy Methods in Logistics Systems. **Processes**, v. 11, n. 3, p. 859, 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2227-9717/11/3/859.

DE OLIVEIRA, A. D. *et al.* Convenção da Basiléia: panorama brasileiro da movimentação transfronteiriça de resíduos perigosos e seu depósito. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, [S. l.], v. 16, n. 8, p. 12083-12100, 2023. DOI: 10.55905/revconv.16n.8-180. Disponível em: https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/1663.

DE SA, P.; KORINEK, J. Resource efficiency, the circular economy and trade in metals and minerals. Paris**:** **OECD Publishing**, 2021. Disponível em: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2021/03/resource-efficiency-the-circular-economy-sustainable-materials-management-and-trade-in-metals-and-minerals_6536e0dc/69abc1bd-en.pdf.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

DONG, Z.; SUN, X.; HAO, H. Transboundary trade poses regulatory challenges for EV battery recycling. **Environmental Research Letters**, v. 20, n. 1, 2025. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/adf865.

DUC, N. M.; NGUYEN, L. H. Ranking barriers to green port development: A neutrosophic-fuzzy ISM approach. **Maritime Technology and Research**, v. 8, n. 1, p. 281958, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.33175/mtr.2026.281958.

DURÁN, C. *et al.* Logistics Performance and Sustainability Outcomes: A Global Structural Analysis. **Sustainability**, v. 18, n. 6, p. 3063, 2026. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/18/6/3063.

GALVÃO, C. B. *et al.* Best practices in ESG: a benchmarking for Brazilian seaports. **Journal of Shipping and Trade**, v. 10, n. 1, art. 16, 2025. DOI: 10.1186/s41072-025-00206-2. Disponível em: https://jshippingandtrade.springeropen.com/articles/10.1186/s41072-025-00206-2.

GAO, Q.; LI, B.; QIN, Y. Global Plastic Waste Reallocation and Pollution: Evidence from China's Import Ban. **SSRN Electronic Journal**, 2025. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5529098.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 11-32, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007.

GREGSON, N.; CRANG, M. From waste to resources: The trade in waste and global recycling economies. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 40, n. 1, p. 151-176, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021105.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. Washington, DC**:** **World Bank**, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1596/17388.

HSIEH, H.-F.; SHANNON, S. E**.** Three approaches to qualitative content analysis. **Qualitative Health Research**, v. 15, n. 9, p. 1277-1288, 2005. Disponível em: https://doi.org/10.1177/1049732305276687.

ILYAS, S.; KIM, H.; SRIVASTAVA, R. R. **Sustainable urban mining of precious metals**: an introduction. Boca Raton: Taylor & Francis, 2021. Disponível em: https://api.taylorfrancis.com/content/chapters/edit/download?identifierName=doi&identifierValue=10.1201/9781003055068-1&type=chapterpdf.

JOHANSEN, B. H.; ASPEN, D. M.; SPARREVIK, M.; BRATTEBØ, H**.** Applying system-oriented sustainability scoring for cruise traffic port operators: A case study of geiranger, Norway. **Sustainability**, v. 13, n. 11, p. 6046, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su13116046.

KANG, M. J.; PARK, S. The Future of Port Logistics: Evaluating Integrated Smart-Energy Solutions for Yeosu Port's Sustainability. **Journal of Distribution Science**, v. 24, n. 2, p. 109-118, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.15722/jds.24.02.202602.109.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

KELLENBERG, D. The economics of the international trade of waste. **Annual Review of Resource Economics**, v. 7, n. 1, p. 109-125, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100913-012639.

KHAN, A. S. Clearly Hazardous, Obscurely Regulated: Lessons from the Basel Convention on Waste Trade. **AJIL Unbound**, v. 114, p. 200-205, 2020. DOI: 10.1017/aju.2020.38. Disponível em: https://doi.org/10.1017/aju.2020.38.

KOPSICK, D. A. **Predictive Factors to Explain the Export of Hazardous Waste under the Basel Convention**. 2011. Tese (Doutorado em Políticas Públicas) – [S. l.]: ProQuest Dissertations Publishing, 2011. Disponível em: https://search.proquest.com/openview/3d2349f7891658c59ded5e983791a012.

LEPAWSKY, J. Are we living in a post-Basel world? **Area**, v. 47, n. 1, p. 7-15, 2015a. Disponível em: https://doi.org/10.1111/area.12144.

LEPAWSKY, J. The changing geography of global trade in electronic discards. **The Geographical Journal**, v. 181, n. 2, p. 147-159, 2015b. Disponível em: https://doi.org/10.1111/geoj.12077.

LOPES, L. S.; NABAIS, J. L.; PINTO, C.; CALDEIRINHA, V.; PINHO, T. Essential Competencies in Maritime and Port Logistics: A Study on the Current Needs of the Sector. **Sustainability**, v. 17, n. 6, p. 2378, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su17062378.

LOUKAKOS, P. **Knowledge-Based Approach to Risk Analysis in the Customs Domain**. 2014. Tese (Doutorado) – Cardiff University, Cardiff, 2014. Disponível em: https://orca.cardiff.ac.uk/id/eprint/60042/

LUNDGREN, K. **The electronic waste problem**: Surmounting the challenge of e-waste management with a focus on India. Geneva: International Labour Office (ILO), 2012.

MAKKAWAN, K.; MUANGPAN, T.; SURARAKSA, J. Port Sustainability Framework in Thailand: ESG Indicators Approach. **Sustainable Marine Structures**, v. 7, n. 3, p. 157-176, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.36956/sms.v7i3.2400.

MAPHOSA, M.; MAPHOSA, V. **Using the Circular Economy to Mitigate the Global Electronic Waste Challenge**. Pretoria: University of Pretoria, 2024. Disponível em: https://repository.up.ac.za/items/8f554b2e-0b73-4091-b875-c205cbb87b04.

MOHAMED, D. *et al.* **Transforming Waste into Wealth**: The Role of E-waste in Sustainable Mineral Resource Management. [S. l.]: Preprints, 2025. Disponível em: https://www.preprints.org/frontend/manuscript/b0165a659c07b8f4747ad9c5375e0c60/download_pub.

MOÏSÉ, E.; RUBÍNOVÁ, S. **Trade Policies to Promote the Circular Economy**: A Case Study of Lithium-Ion Batteries. Paris: OECD Publishing, 2023. Disponível em: https://search.proquest.com/openview/d2318023870a29aee5d5f387b2701012.

MOLINA-SERRANO, B.; GONZÁLEZ-CANCELAS, N.; SOLER-FLORES, F. Artificial intelligence model to analyze sustainability management of maritime ports. **Dyna**, v. 93, n. 1, p. 67-74, 2018a. Disponível em: https://doi.org/10.6036/8508.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

MOLINA-SERRANO, B.; GONZÁLEZ-CANCELAS, N.; SOLER-FLORES, F. Towards port sustainability through probabilistic models: Bayesian networks. **Informes de la Construcción**, v. 70, n. 549, p. 54678, 2018b. Disponível em: https://doi.org/10.3989/id.54678.

O'NEILL, K. **Waste**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2019.

ORTEGÓN RIVEROS, W. E.; ECHEVERRI ARANGO, J. J. La influencia de la logística verde en el mundo de los negocios internacionales. **Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 9, n. 3, p. 99-112, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.21664/2238-8869.2020v9i3.p99-112.

PEDERSINI, D.; RODRIGUES, K.; PETRI, S.; ENSSLIN, S. Performance Evaluation Systems measures in the port sector: A bibliometric analysis. **Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 22, n. 4, p. 273-284, 2022. DOI: 10.5894/rgci-n491.

PEHLIVAN, P.; ASLAN, A. I.; DAVID, S.; BACALUM, S. Determination of Logistics Performance Using Bayesian Models. **Sustainability**, v. 16, n. 5, p. 1852, 2024. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/16/5/1852.

PELLOW, D. N. **Resisting Global Toxics**: Transnational Movements for Environmental Justice. Cambridge: MIT Press, 2007.

PIMENOW, S.; PIMENOWA, O.; REMBISZ, W. Circular economy pathways for critical raw materials: European Union policy instruments, secondary supply, and sustainable development outcomes. **Sustainability**, v. 18, n. 2, p. 562, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su18020562.

QU, S. *et al.* Implications of China's foreign waste ban on the global circular economy. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 144, p. 252-255, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.004.

SANDS, P. International Management of Hazardous Wastes: The Basel Convention and Related Legal Rules by Katharina Kummer (Book Review). **American Journal of International Law**, v. 91, n. 3, p. 572-573, 1997. DOI: 10.2307/2954200.

SATTA, G.; VITELLARO, F.; NJIKATOUFON, A. G.; RISITANO, M. Green strategies in ports: a stakeholder management perspective. **Maritime Economics and Logistics**, v. 27, n. 1, p. 96-122, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1057/s41278-024-00294-0.

SERAJ, M. Economic Globalization and Environmental Technology: Implications for Environmental Degradation in G7 Countries. **Sustainability**, v. 18, n. 4, p. 1819, 2026. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/18/4/1819.

SNYDER, H. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, v. 104, p. 333-339, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039.

SOMMER, K. **The Chinese Waste Import Ban and the Emergence of Waste Havens within Europe**. [S. l.]: EconStor, 2024. Disponível em: https://www.econstor.eu/handle/10419/302275.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

THAKUR, P. Global Impact of a Unilateral Waste Trade Regulation. **Journal of the Association of Environmental and Resource Economists**, 2026. Disponível em: https://www.journals.uchicago.edu/doi/full/10.1086/736818.

WANG, C. *et al.* Structure of the global plastic waste trade network and the impact of China's import ban. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 153, p. 104591, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104591.

WANG, W. *et al.* Process Safety Enhancement in Maritime Operations: A Bayesian Network-Based Risk Assessment Framework. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 93, p. 105434, 2025. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582024016434.

XAVIER, L. H.; OTTONI, M.; LEPAWSKY, J. Circular Economy and E-waste Management in the Americas. **Journal of Cleaner Production**, v. 297, p. 126625, 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621007903.

ZHANG, S. The Effect of China's Recyclable Waste Import Ban on Relocation of Pollution in the US. **SSRN Electronic Journal**, 2022. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5241876.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.