XV ENCONTRO INTERNACIONAL DO CONPEDI ALICANTE - ESPANHA

DIREITO AMBIENTAL, AGRÁRIO E SOCIOAMBIETALISMO II

CAROLINA MEDEIROS BAHIA

GABRIELA SOLDANO GARCEZ

Copyright © 2026 Conselho Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Direito

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

Diretoria – CONPEDI
Presidente - Profa. Dra. Samyra Haydêe Dal Farra Naspolini - FMU – São Paulo
Diretor Executivo - Prof. Dr. Orides Mezzaroba - UFSC – Santa Catarina
Vice-presidente Norte - Prof. Dr. Jean Carlos Dias - Cesupa – Pará
Vice-presidente Centro-Oeste - Prof. Dr. José Querino Tavares Neto - UFG – Goiás
Vice-presidente Sul - Prof. Dr. Leonel Severo Rocha - Unisinos – Rio Grande do Sul
Vice-presidente Sudeste - Profa. Dra. Rosângela Lunardelli Cavallazzi - UFRJ/PUCRio – Rio de Janeiro
Vice-presidente Nordeste - Prof. Dr. Raymundo Juliano Feitosa - UNICAP - Pernambuco

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

Conselho Fiscal:
Prof. Dr. José Filomeno de Moraes Filho - UFMA - Maranhão
Prof. Dr. Caio Augusto Souza Lara - SKEMA/ESDHC/UFMG - Minas Gerais
Prof. Dr. Valter Moura do Carmo - UFERSA - Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Fernando Passos – UNIARA - São Paulo
Prof. Dr. Edinilson Donisete Machado - UNIVEM/UENP - São Paulo
Secretarias
Relações Institucionais:
Prof. Dra. Claudia Maria Barbosa - PUCPR - Paraná
Prof. Dr. Heron José de Santana Gordilho - UFBA - Bahia
Profa. Dra. Daniela Marques de Moraes - UNB - Distrito Federal
Comunicação:
Prof. Dr. Robison Tramontina - UNOESC - Santa Catarina
Prof. Dr. Liton Lanes Pilau Sobrinho - UPF/Univali - Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Lucas Gonçalves da Silva - UFS - Sergipe
Relações Internacionais para o Continente Americano:
Prof. Dr. Jerônimo Siqueira Tybusch - UFSM - Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Paulo Roberto Barbosa Ramos - UFMA - Maranhão
Prof. Dr. Felipe Chiarello de Souza Pinto - UPM – São Paulo
Relações Internacionais para os demais Continentes:
Profa. Dra. Gina Vidal Marcilio Pompeu - UNIFOR - Ceará
Profa. Dra. Sandra Regina Martini - UNIRITTER / UFRGS - Rio Grande do Sul
Profa. Dra. Maria Claudia da Silva Antunes de Souza - UNIVALI – Santa Catarina
Educação Jurídica
Profa. Dra. Viviane Coêlho de Séllos Knoerr - Unicuritiba - PR
Prof. Dr. Rubens Beçak - USP - SP
Profa. Dra. Livia Gaigher Bosio Campello – UFMS – MS
Eventos:
Prof. Dr. Yuri Nathan da Costa Lannes - FDF - São Paulo
Profa. Dra. Norma Sueli Padilha - UFSC - Santa Catarina
Prof. Dr. Juraci Mourão Lopes Filho - UNICHRISTUS - Ceará

Comissão Especial
Prof. Dr. João Marcelo de Lima Assafim - UFRJ - RJ
Profa. Dra. Maria Creusa De Araújo Borges - UFPB - PB
Prof. Dr. Antônio Carlos Diniz Murta - Fumec - MG
Prof. Dr. Rogério Borba - UNIFACVEST - SC

D597

Direito ambiental, agrário e socioambientalismo II[Recurso eletrônico on-line] organização CONPEDI

Coordenadores: Carolina Medeiros Bahia; Gabriela Soldano Garcez.– Florianópolis: CONPEDI, 2026.

Inclui bibliografia
ISBN: 978-65-5274-679-5
Modo de acesso: www.conpedi.org.br em publicações
Tema: Meio ambiente e sustentabilidade: perspectivas globais e locais na agenda 2030

2. Direito ambiental. 3. Socioambientalismo. XV Encontro Internacional do CONPEDI Alicante - Espanha (1: 2026: Florianópolis, Brasil).

CDU: 34



Conselho Nacional de Pesquisa
e Pós-Graduação em Direito Florianópolis
Santa Catarina – Brasil
www.conpedi.org.br

XV ENCONTRO INTERNACIONAL DO CONPEDI ALICANTE - ESPANHA

DIREITO AMBIENTAL, AGRÁRIO E SOCIOAMBIETALISMO II

Apresentação

APRESENTAÇÃO - Grupo de Trabalho “Direito Ambiental, Agrário e Socioambientalismo II”

O XV Encontro Internacional do CONPEDI ocorreu entre os dias 27, 28 e 29 de maio de 2026, na cidade de Alicante, Espanha, consolidando um espaço de reflexão e diálogo crítico sobre a ciência.

Nesse sentido, o Grupo de Trabalho denominado “Direito Ambiental, Agrário e Socioambientalismo II” abriu espaço para apresentação (e posterior publicação) de artigos de pesquisadores (docentes e discentes) espalhados por várias regiões do Brasil e de outros países, representando um significativo fortalecimento do debate das questões e dos e dos desafios atuais socioambientais.

Foram 16 pesquisas apresentadas que abordaram relevantes temáticas, representando a qualidade e profundidade das respectivas pesquisas.

O 1º trabalho, intitulado “O ACORDO DE ESCAZÚ E OS DESAFIOS DA PROTEÇÃO DE DEFENSORES DE DIREITOS HUMANOS AMBIENTAIS NO VALE DO JAVARI DIANTE DO GARIMPO ILEGAL”, de Cássio André Borges dos Santos, Brainer Rian de Souza Arevalo, Katrine Castro Sarmento, analisou de forma específica a aplicação dos princípios contidos no Acordo de Escazú para o caso concreto do Vale do Rio Javari, considerando as particularidades da região no que se refere a presença do garimpo.

O 2º trabalho, com o título de “DA DESIGUALDADE CLIMÁTICA À GARANTIA DE PROTEÇÃO: DESAFIOS JURÍDICOS, SOCIAIS E ÉTICOS PARA A SOBREVIVÊNCIA DA HUMANIDADE”, elaborado por Valéria Giumelli Canestrini, Denise S. S. Garcia, analisou a desigualdade climática, e os desafios jurídicos e estruturais da distribuição social dos riscos em face dos mais vulneráveis.

Já o 3º trabalho, intitulado “A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E A DESCARBONIZAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: O HIDROGÊNIO VERDE À LUZ DO DIREITO CONSTITUCIONAL ECOLÓGICO”, de Andreza Maria Nascimento De Mattos,

Fabricio Vasconcelos de Oliveira, Jimmy Souza Do Carmo, abordou a imprescindibilidade da transição energética para a construção de um modelo de desenvolvimento sustentável.

Na sequência, o 4º trabalho, com o título: "ACORDO DE PARIS E A PARTICIPAÇÃO DAS ONGS ENQUANTO NON-PARTY STAKEHOLDERS: APONTAMENTOS À LUZ DA SOCIOLOGIA COSMOPOLITA DE ULRICH BECK E DA TEORIA DO MULTILATERALISMO HÍBRIDO", de Guilherme Edson Merege de Mello Cruz Pinto, Norma Sueli Padilha, qualificou a participação das ONGS conforme o Acordo de Paris, num cenário de Sociedade de Risco.

O 5º trabalho sobre: "A TECNOLOGIA ASEC COMO INSTRUMENTO DE EFETIVAÇÃO DO ZERO LIQUID DISCHARGE (ZLD): ANÁLISE À LUZ DO GREEN DEAL EUROPEU E DA AGENDA 2030", de Idel Profeta Ribeiro, abordou a inovadora tecnologia de Evaporação Sônica Adiabática e Cristalização (ASEC).

O 6º trabalho com o título "A PROTEÇÃO JURÍDICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA AMAZÔNIA: DESAFIOS REGULATÓRIOS E A GOVERNANÇA DO SISTEMA AQUÍFERO GRANDE AMAZÔNIA", de Verônica Maria Félix Da Silva, Rejane da S. Viana, abordou a importância da proteção do Sistema Aquífero Grande Amazônia (SAGA), através de um sistema de governança.

Já o 7º trabalho, sobre: "A METAMORFOSE DA SOBERANIA AMBIENTAL: A LEX SPORTIVA COMO VETOR DE GOVERNANÇA CLIMÁTICA TRANSNACIONAL E A EXPERIÊNCIA DO GRANDE PRÊMIO DE SÃO PAULO", de Abner Batista David, Patricia Ayub da Costa, Kallyanne Yukaren Okada, utilizou da Fórmula 1 e do Grande Prêmio de São Paulo (2024–2025) como estudo de caso para avaliar a eficácia da Regulação Privada Transnacional (TPR) na mitigação das mudanças climáticas.

Na sequência, o 8º trabalho, com o título "A DISTRIBUIÇÃO DE COMPETÊNCIAS AMBIENTAIS E A DESCENTRALIZAÇÃO DO PODER POLÍTICO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MODELOS CONSTITUCIONAIS DO BRASIL E DA ESPANHA", de Marcos Fey Probst, Alice Francisco da Cruz, comparou a distribuição de competências ambientais nos sistemas constitucionais do Brasil e da Espanha.

O 9º trabalho sobre "O ESTADO DE COISAS INCONSTITUCIONAL EM MATÉRIA AMBIENTAL NA JURISDIÇÃO CONSTITUCIONAL BRASILEIRA", de Gerson Luiz Martins Dos Santos, Cássio André Borges dos Santos, buscou estudar o instituto do estado de coisas inconstitucional, conectando-o com a disciplina ambiental.

Já o 10º trabalho, sobre o tema: “TERRITÓRIOS SEGUROS E MOBILIDADE HUMANA EM TEMPOS DE EMERGÊNCIA CLIMÁTICA: REFLEXÕES A PARTIR DO REENVIO PREJUDICIAL DO TRIBUNAL DE BOLONHA À UNIÃO EUROPEIA”, de Sabrina Lehnen Stoll, Rogerio Borba, demonstrou como o deslocamento humano em virtude das mudanças climáticas é, atualmente, um dos principais desafios globais.

O 11º trabalho, com o título: “BIG TECHS E ESG: A RESPONSABILIDADE JURÍDICA DIANTE DOS RISCOS DE GREENWASHING EM MATÉRIA AMBIENTAL”, de Rogerio Borba, Eduarda Lopes Bolela, procura analisar a necessidade de uma nova estrutura de responsabilidade para as Big Techs, diante da insuficiência ambiental do marco regulatório atual.

Na sequência, o 12º trabalho, “ALÉM DA DEMOCRACIA REPRESENTATIVA: O PAPEL DA GOVERNANÇA DELIBERATIVA PARA A CONCRETIZAÇÃO DOS OBJETIVOS DA AGENDA 2030”, de Marcos Felipe de Assis Ribeiro, Gabriela Soldano Garcez, Angela Limongi Alvarenga Alves, buscou analisar a importância da democracia deliberativa para alcançar os marcos da Agenda 2030.

O 13º trabalho, “AS EXTERNALIDADES AMBIENTAIS GERADAS PELOS ALIMENTOS TRANSGÊNICOS”, de Valmir César Pozzetti, Marie Joan Nascimento Ferreira, José Alcides Queiroz Lima, analisa as mazelas dos alimentos transgênicos nas mais diversas espécies de meio ambiente.

Já o 14º trabalho, com o título “DRAGAGEM DE HIDROVIAS NA AMAZÔNIA À LUZ DO PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO NO CASO DO RIO TAPAJÓS”, de Alcemir Filomeno Pinto, Anne Vitória Santiago Morais do Nascimento, Marie Joan Nascimento Ferreira, analisou o papel do licenciamento como instrumento de efetivação da precaução ambiental, conectando-a a temática com as atividades de dragagem no rio Tapajós.

O 15º trabalho, sobre “A INVISIBILIDADE DA AMAZÔNIA URBANA E A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM MANAUS NO CONSTITUCIONALISMO AMBIENTAL BRASILEIRO”, de Darcilene Davies Lopes Dourado, Alcemir Filomeno Pinto, Glaucia Maria de Araújo Ribeiro, interpretou os desafios da proteção constitucional brasileira para a realidade ambiental urbana amazônica.

Por fim, o 16º trabalho, “A ATUALIDADE DA JUSTIÇA CLIMÁTICA NO BRASIL: ENTRE VULNERABILIDADE URBANA, RACISMO CLIMÁTICO E INSUFICIÊNCIA REGULATÓRIA”, de Maria Fernanda Leal Maymone, Angela Limongi Alvarenga Alves,

Maria Érica Batista dos Santos, avaliou a efetividade das políticas públicas ambientais brasileiras à luz da justiça climática.

Assim, de forma crítica, todos os trabalhos deste Grupo evidenciam a importância da temática ambiental no Brasil e no mundo, demonstrando o papel estratégico da sustentabilidade na busca por justiça socioambiental para as presentes e futuras gerações.

Desejamos a todas e todos uma excelente leitura!

Junho/2026

Coordenadoras:

• Profª drª Carolina Medeiros Bahia - Universidade Federal de Santa Catarina

• Profª drª Gabriela Soldano Garcez - Universidade Católica de Santos - UNISANTOS

A TECNOLOGIA ASEC COMO INSTRUMENTO DE EFETIVAÇÃO DO ZERO LIQUID DISCHARGE (ZLD): ANÁLISE À LUZ DO GREEN DEAL EUROPEU E DA AGENDA 2030

ASEC TECHNOLOGY AS AN INSTRUMENT FOR EFFECTIVE ZERO LIQUID DISCHARGE (ZLD): ANALYSIS IN LIGHT OF THE EUROPEAN GREEN DEAL AND THE 2030 AGENDA

Idel Profeta Ribeiro

Resumo

A escassez hídrica e a persistência de poluentes complexos, como microplásticos e drenagem ácida de mina, desafiam a efetividade das normas ambientais globais. O presente artigo analisa a tecnologia de Evaporação Sônica Adiabática e Cristalização (ASEC) não apenas como inovação de engenharia, mas como standard tecnológico capaz de redefinir a exigibilidade jurídica do conceito de Zero Liquid Discharge (ZLD). Por meio de método dedutivo e análise de estudos de caso na mineração (Faixa Piritosa Ibérica) e indústria têxtil, verificou-se que a tecnologia permite a recuperação de 100% da água em grau destilado e a cristalização de resíduos para reinserção na cadeia produtiva. Conclui-se que a existência de tal solução técnica remove o argumento da "impossibilidade fática" para a poluição industrial, validando a aplicação rigorosa da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/10) e alinhando a prática industrial às exigências do European Green Deal e da Agenda 2030.

Palavras-chave: Asec, Zero liquid discharge, Política nacional de resíduos sólidos, Direito ambiental, Economia circular

Abstract/Resumen/Résumé

Water scarcity and the persistence of complex pollutants, such as microplastics and acid mine drainage, challenge the effectiveness of global environmental regulations. This article analyzes the Adiabatic Sonic Evaporation and Crystallization (ASEC) technology not only as an engineering innovation but as a technological standard capable of redefining the legal enforceability of the Zero Liquid Discharge (ZLD) concept. Through a deductive method and analysis of case studies in mining (Iberian Pyrite Belt) and the textile industry, it was verified that the technology allows 100% recovery of distilled-grade water and crystallization of residues for reinsertion into the production chain. It is concluded that the existence of such a technical solution removes the argument of "factual impossibility" for industrial pollution, validating the rigorous application of the National Solid Waste Policy (Law 12.305/10) and aligning industrial practice with the requirements of the European Green Deal and Agenda 2030.

Keywords/Palabras-claves/Mots-clés: Asec, Zero liquid discharge, National solid waste policy, Environmental law, Circular economy

1. INTRODUÇÃO:

A sociedade contemporânea, classificada por Ulrich Beck como uma "Sociedade de Risco", enfrenta o paradoxo do desenvolvimento industrial: a produção de bens essenciais à vida moderna gera, invariavelmente, subprodutos que ameaçam a continuidade da própria vida. No centro desse dilema encontra-se a gestão dos recursos hídricos. A água, insumo insubstituível, tornou-se o vetor principal de transporte de contaminantes complexos, desde metais pesados oriundos da mineração até microplásticos invisíveis da indústria têxtil. A crise hídrica global, agravada pelas mudanças climáticas, impõe um novo olhar sobre a responsabilidade industrial e a eficácia das normas ambientais.

Nesse contexto, a percepção do risco se intensifica, e a sociedade exige respostas mais contundentes do Direito e da tecnologia. Beck (2011) já alertava para a natureza pervasiva e transfronteiriça desses riscos. No centro das questões de risco não se encontram apenas as consequências da saúde e da natureza, mas também as consequências sociais, econômicas e políticas secundárias a esses efeitos colaterais**.**

O Direito Ambiental Brasileiro, estruturado sob o paradigma da prevenção e da precaução, sempre esbarrou em uma limitação fática: a tecnologia disponível. Durante décadas, a "melhor tecnologia disponível" (*Best Available Technology* - BAT) permitia apenas o tratamento parcial de efluentes, resultando em licenças ambientais que, na prática, autorizavam a poluição controlada. O poluidor defendia-se sob o manto da impossibilidade técnica de atingir a pureza absoluta no descarte, perpetuando um ciclo de degradação ambiental legalizada, ou seja, forjada dentro do escopo normativo existente.

O cenário tecnológico sofreu uma ruptura. O surgimento de tecnologias de separação física avançada, especificamente a Evaporação Sônica Adiabática e Cristalização (ASEC), promete alterar a equação jurídica. Se é tecnicamente possível recuperar 100% da água e cristalizar os resíduos, a descarga líquida deixa de ser uma necessidade técnica para se tornar uma escolha econômica. Essa mudança de paradigma exige uma reavaliação profunda dos conceitos de: poluição, tratamento adequado e viabilidade técnica junto ao ordenamento jurídico.

O presente artigo tem por objetivo analisar como essa inovação tecnológica impacta a exigibilidade das normas ambientais. A hipótese central é que a existência da ASEC eleva o *standard* de diligência ambiental, tornando o conceito de *Zero Liquid Discharge* (ZLD) uma

obrigação jurídica exequível à luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/10) e da jurisprudência do Superior Tribunal de Justiça. Além disso, busca-se demonstrar o alinhamento desse avanço tecnológico e suas consequências com os marcos regulatórios internacionais, especificamente o *European Green Deal* e a nova legislação espanhola (Lei nº7/2022).

2. METODOLOGIA

A complexidade do problema proposto exigiu uma abordagem metodológica rigorosa e interdisciplinar, capaz de transitar entre a engenharia, o direito e a geopolítica ambiental. A pesquisa classifica-se como qualitativa e exploratória, estruturada pelo método hipotético-dedutivo. Partiu-se da premissa teórica (normas de proteção integral e princípios ambientais) para a análise do fato concreto (nova tecnologia e seus resultados empíricos), deduzindo-se as consequências jurídicas (nova exigibilidade e redefinição de padrões). Para alcançar os objetivos propostos, a pesquisa estruturou-se nas seguintes etapas: Revisão Bibliográfica: Análise da doutrina nacional e estrangeira sobre ZLD e Direito Ambiental; Análise Documental, Exame das patentes da tecnologia ASEC e relatórios técnicos de eficiência; Estudo de Caso: Avaliação dos dados empíricos da aplicação na Espanha e projeções para o cenário brasileiro. O itinerário investigativo desenvolveu-se em três eixos principais:

2.1. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA TÉCNICA

Não se pode legislar ou julgar sobre o que se desconhece. Por isso, a primeira etapa consistiu na análise profunda de artigos científicos de engenharia e química ambiental, publicados em periódicos de alto impacto (como *Water* e *Applied Sciences*) entre 2023 e 2025. O foco foi compreender o funcionamento da tecnologia ASEC e validar seus resultados em dois cenários críticos: a drenagem ácida de minas na Faixa Piritosa Ibérica (Espanha) e a poluição por microplásticos na indústria têxtil. Esta revisão permitiu estabelecer a base fática da viabilidade técnica do ZLD.

2.2. HERMENÊUTICA JURÍDICA E DOUTRINÁRIA

No segundo eixo, os fatos técnicos foram submetidos ao crivo do Direito. Analisou-se a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/97) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos brasileira (Lei 12.305/10) sob as lentes da doutrina de Édis Milaré, Paulo Affonso Leme Machado e José Rubens Morato Leite. Buscou-se fundamentar como a tecnologia

preenche os conceitos indeterminados da lei, como “poluição”, “tratamento adequado”, “viabilidade técnica” e “melhor tecnologia disponível”, redefinindo o alcance da responsabilidade ambiental.

2.3. ANÁLISE COMPARADA JURISIPRUDENCIAL

Por fim, realizou-se o cotejo com o Direito Internacional e Comparado, examinando a nova Lei de Resíduos da Espanha (Lei nº 7/2022) e as Diretivas da União Europeia, bem como a legislação de outros países que já adotam o ZLD. Simultaneamente, a jurisprudência do STJ brasileiro foi mapeada para identificar como a Corte aplica a Teoria do Risco Integral diante de novas tecnologias e como a inversão do ônus da prova pode ser decisiva em litígios ambientais envolvendo a ASEC.

3. O CONTEXTO GEOPOLÍTICO DO SURGIMENTO DA INOVAÇÃO ASEC

A emergência de tecnologias disruptivas como a ASEC não ocorre no vácuo, mas é impulsionada por um complexo cenário de pressões ambientais, econômicas e regulatórias em escala global. A crescente conscientização sobre as mudanças climáticas e a escassez de recursos naturais, especialmente a água, tem levado à formulação de ambiciosas agendas internacionais, como o *Green Deal* europeu e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. O ODS 6, que visa assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos, e o ODS 12, que busca garantir padrões de produção e de consumo sustentáveis, são particularmente relevantes. Essas agendas não são meras declarações de intenção; elas se traduzem em políticas públicas e regulamentações cada vez mais rigorosas, que impõem limites mais estreitos ao descarte de efluentes e incentivam a economia circular.

A pressão por um *Zero Liquid Discharge* (ZLD) não é mais uma utopia ambientalista, mas uma exigência prática para indústrias que buscam manter sua licença social para operar e sua competitividade em mercados cada vez mais sensíveis à sustentabilidade. Nesse contexto, a inovação tecnológica se torna um diferencial estratégico, permitindo que empresas e nações não apenas cumpram as normas, mas transformem desafios ambientais em oportunidades econômicas, recuperando recursos valiosos de fluxos de resíduos. A ASEC surge como uma resposta a essa demanda global por soluções eficientes, econômicas e ambientalmente superiores para a gestão de efluentes, redefinindo o que é tecnologicamente viável e economicamente atrativo no tratamento de águas residuais

.

3.1. O BERÇO DA INOVAÇÃO: A ESPANHA E O PARADOXO DA ESCASSEZ

A Espanha, particularmente a região da Andaluzia, emerge como um laboratório natural para o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias de gestão hídrica avançada, como a ASEC. O país enfrenta um paradoxo hídrico agudo: apesar de ser uma das nações europeias com maior biodiversidade e uma rica cobertura florestal, sofre com a escassez crônica de água, exacerbada pelas mudanças climáticas e por um modelo de desenvolvimento intensivo em recursos hídricos.

A desertificação avança, e a disponibilidade de água potável e para uso industrial torna-se um gargalo para o crescimento econômico. Nesse cenário de "beber da pedra", a inovação se torna uma necessidade premente. A pressão sobre os recursos hídricos levou a Espanha a adotar uma das legislações ambientais mais progressistas da Europa. A Lei 7/2022, de 8 de abril, de resíduos e solos contaminados para uma economia circular, representa um marco regulatório que impulsiona a transição para modelos de produção e consumo mais sustentáveis. Essa legislação não apenas estabelece metas ambiciosas para a redução, reutilização e reciclagem de resíduos, mas também cria um ambiente propício para o desenvolvimento e a adoção de tecnologias que permitam o fechamento de ciclos hídricos e materiais. A ASEC, ao possibilitar o ZLD e a recuperação de sais e minerais de efluentes, alinha-se perfeitamente aos objetivos da Lei 7/2022, oferecendo uma solução prática para o desafio de transformar resíduos em recursos e garantir a segurança hídrica em um país que aprendeu a conviver com a escassez. A experiência espanhola demonstra como a combinação de pressão ambiental e um arcabouço regulatório inovador pode catalisar o surgimento e a validação de tecnologias de ponta.

3.2. A ENGENHARIA QUIMICA POR TRÁS DA RUPTURA: PATENTES E AUTORIA

A inovação tecnológica, especialmente em campos tão críticos quanto o tratamento de efluentes, é frequentemente o resultado do trabalho árduo e da visão de engenheiros e cientistas. No caso da tecnologia ASEC, o Dr. Pedro Gonzalez Dominguez, que registrou e patenteou a instalação e o método para purificação de fluídos por destilação, destaca-se como uma figura central, sendo o principal autor e inventor por trás das patentes que protegem essa abordagem disruptiva.

A proteção por patentes, especialmente as patentes PCT (Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes), é crucial para garantir que o investimento em pesquisa e desenvolvimento seja recompensado e que a inovação possa ser escalada globalmente. As patentes PCT

conferem proteção em múltiplos países, facilitando a disseminação da tecnologia e a formação de parcerias internacionais. Além do reconhecimento individual, a autoria e a proteção intelectual da ASEC ressaltam a função social da patente. Longe de ser um mero instrumento de monopólio, a patente, nesse contexto, serve como um mecanismo para incentivar a criação de soluções para problemas globais prementes, como a escassez hídrica e a poluição.

Ao proteger a invenção, o sistema de patentes permite que a tecnologia ASEC seja desenvolvida, aprimorada e aplicada em larga escala, beneficiando a sociedade como um todo ao oferecer uma alternativa sustentável para a gestão de efluentes. A engenharia quimica, nesse sentido, transcende a mera aplicação de princípios científicos, tornando-se um motor de transformação social e ambiental, com o Dr. Gonzalez e sua equipe liderando o caminho para um futuro mais sustentável na gestão da água.

4. O PARADIGMA TECNOLÓGICO: DA INEFICIÊNCIA QUÍMICA À PRECISÃO FÍSICA

O tratamento convencional de efluentes industriais, historicamente, tem se baseado em processos físico-químicos e biológicos que, embora eficazes em remover parte dos poluentes, frequentemente geram subprodutos problemáticos. As Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) tradicionais dependem do uso intensivo de produtos químicos para coagulação, floculação e ajuste de pH, resultando na formação de grandes volumes de lodo. Esse lodo, por sua vez, é um resíduo perigoso que exige tratamento e descarte específicos, elevando os custos operacionais e ambientais.

Além disso, muitos contaminantes, como sais dissolvidos, metais pesados e microplásticos, não são completamente removidos por esses métodos, persistindo no efluente tratado ou concentrando-se no lodo. A ineficiência desses sistemas em atingir o Zero Liquid Discharge (ZLD) e a recuperação de recursos valiosos tem impulsionado a busca por um novo paradigma tecnológico.

A ASEC representa essa mudança, ao abandonar a dependência de reações químicas complexas e a geração de lodo tóxico, em favor de um processo que utiliza princípios físicos para separar a água dos contaminantes de forma eficiente e limpa. Essa transição da "ineficiência química" para a "precisão física" não é apenas uma melhoria incremental, mas uma ruptura fundamental na forma como abordamos o tratamento de efluentes, abrindo caminho para uma verdadeira economia circular da água.

4.1. A MECÂNICA DOS FLUIDOS NA TECNOLOGIA ASEC

A tecnologia ASEC opera com base em princípios avançados da mecânica dos fluidos e da termodinâmica, utilizando bicos sônicos e o conceito de evaporação adiabática para alcançar a separação eficiente de água e contaminantes.

O processo inicia-se com a pressurização do efluente, que é então injetado através de bicos sônicos. A passagem do fluido por esses bicos a velocidades supersônicas cria uma queda abrupta de pressão e temperatura, resultando na evaporação instantânea de parte da água. Este fenômeno é conhecido como evaporação adiabática, onde a energia necessária para a mudança de fase (líquido para vapor) é retirada do próprio fluido, causando um resfriamento significativo. O vapor de água gerado é puro e pode ser condensado para reuso, enquanto os contaminantes dissolvidos, como sais e metais, permanecem na fase líquida concentrada. A repetição desse ciclo de evaporação e concentração leva à supersaturação da solução, promovendo a cristalização dos sólidos dissolvidos. Esses cristais podem ser facilmente separados da água restante, resultando em um efluente líquido purificado e em um resíduo sólido seco e concentrado, que pode ser recuperado ou descartado de forma segura. A ausência de aquecimento externo e a utilização da energia do próprio fluido para a evaporação tornam o processo altamente eficiente em termos energéticos, distinguindo-o das tecnologias térmicas convencionais e minimizando a pegada de carbono.

4.2. A TERMODINÂMICA DA ESCASSEZ

A “termodinâmica da escassez” descreve o dilema enfrentado pelas tecnologias de evaporação térmica convencionais no contexto da crise hídrica. Embora a evaporação seja um método eficaz para separar a água de contaminantes, os processos térmicos tradicionais (como evaporadores a vácuo ou destiladores) demandam uma quantidade colossal de energia para aquecer a água até o ponto de ebulição. Em um cenário de escassez de recursos energéticos e crescente preocupação com as emissões de gases de efeito estufa, essa alta demanda energética torna a evaporação térmica uma solução insustentável e economicamente inviável para o tratamento de grandes volumes de efluentes. A energia necessária para evaporar a água é um custo proibitivo, especialmente em regiões onde a energia é cara ou gerada por fontes fósseis. Além disso, a manutenção de altas temperaturas pode levar à incrustação e corrosão dos equipamentos, aumentando os custos de manutenção e reduzindo a vida útil das instalações. A ASEC, ao contrário, utiliza a evaporação adiabática, que aproveita a energia interna do fluido e as propriedades termodinâmicas da expansão supersônica para induzir a evaporação sem a necessidade de aquecimento externo.

5. EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS E ESTUDOS DE CASO

A eficácia da tecnologia ASEC não se restringe ao plano teórico, sendo corroborada por evidências empíricas e estudos de caso em diversos setores industriais. A capacidade de alcançar o Zero Liquid Discharge (ZLD) e de recuperar recursos valiosos de efluentes complexos tem sido demonstrada em aplicações reais, consolidando a ASEC como uma solução robusta e versátil.

5.1. MINERAÇÃO NA FAIXA PIRITOSA IBÉRICA (ESPANHA)

Um estudo seminal de Bonnail et al. (2023) na Faixa Piritosa Ibérica, uma região com intensa atividade mineradora na Espanha, ilustra a aplicação da ASEC no tratamento de efluentes altamente contaminados. A mineração gera grandes volumes de águas ácidas de mina (AMD) e efluentes com elevadas concentrações de metais pesados (como cobre, zinco, chumbo, cádmio) e elementos críticos para a indústria (CRMs - *Critical Raw Materials*). O estudo demonstrou que a tecnologia ASEC foi capaz de remover eficientemente esses metais pesados, produzindo água de alta qualidade para reuso e, crucialmente, permitindo a recuperação dos CRMs em forma de sais concentrados. Essa recuperação não apenas mitiga o impacto ambiental do descarte, mas também agrega valor econômico ao processo, transformando um passivo ambiental em um ativo. A capacidade de lidar com efluentes de pH baixo e alta salinidade, características comuns na mineração, sem a necessidade de pré-tratamentos complexos ou o uso intensivo de reagentes químicos, ressalta a robustez da ASEC nesse setor.

5.2. A BARREIRA CONTRA MICROPLÁSTICOS TÊXTEIS

Outro estudo relevante, também de Bonnail et al. (2025), focou na aplicação da ASEC para o tratamento de efluentes da indústria têxtil, com ênfase na remoção de microplásticos e outros contaminantes. A indústria têxtil é uma das maiores consumidoras de água e geradoras de efluentes complexos, contendo corantes, produtos químicos e, notavelmente, microplásticos liberados durante a lavagem de tecidos sintéticos. Esses microplásticos representam uma ameaça crescente aos ecossistemas aquáticos e à saúde humana.

O estudo demonstrou que a ASEC atua como uma barreira eficaz contra esses poluentes, concentrando-os na fase sólida e produzindo água livre de microplásticos. Além disso, a tecnologia mostrou-se eficiente na recuperação de compostos de enxofre e outros aditivos químicos presentes nos efluentes têxteis, que podem ser reintroduzidos no processo produtivo. A capacidade da ASEC de tratar efluentes com alta carga orgânica e inorgânica, ao mesmo tempo em que aborda a emergente questão dos microplásticos, posiciona-a como uma

solução estratégica para a indústria têxtil, promovendo a economia circular e a redução do impacto ambiental.

6. A EXPANSÃO GLOBAL DA TECNOLOGIA: ÁSIA E AMÉRICA DO NORTE

A relevância da tecnologia ASEC transcende as fronteiras europeias e já desenha uma nova geografia econômica global, com impactos profundos nas duas maiores frentes industriais do planeta: a Ásia e a América do Norte. Na Ásia, países como Índia e China, que juntos abrigam mais de um terço da população mundial e funcionam como as "fábricas do mundo", enfrentam crises hídricas existenciais que ameaçam sua continuidade produtiva. Na Índia, a *Central Pollution Control Board* (CPCB) tem endurecido drasticamente as normas para setores críticos, como curtumes e têxteis, exigindo o *Zero Liquid Discharge* (ZLD) compulsório em diversas províncias. No entanto, as tecnologias térmicas tradicionais (evaporadores a vácuo) mostravam-se energívoras demais para a matriz elétrica indiana, majoritariamente baseada em carvão.

A introdução de tecnologias sônicas adiabáticas naquele continente representa o "elo perdido" que viabiliza o cumprimento da norma ambiental sem colapsar o fornecimento de energia, permitindo que a indústria indiana mantenha sua competitividade. Simultaneamente, na China, o plano conhecido como "Dez Medidas para a Água" (*Water Ten Plan*) impõe metas rigorosas de recuperação industrial. A adoção de sistemas de cristalização sônica em parques industriais chineses sinaliza uma mudança no comércio global: a "vantagem comparativa" de poluir barato está sendo eliminada.

A Ásia move-se para liderar a economia de baixo carbono, transformando a recuperação de água em ativo estratégico. No hemisfério ocidental, os Estados Unidos apresentam um cenário distinto, porém igualmente receptivo à tecnologia. A revolução do Gás de Xisto (*Shale Gas*) gerou um novo passivo ambiental: a "água produzida" (*produced water*), um efluente hipersalino proveniente do fraturamento hidráulico (*fracking*), cujo tratamento convencional é técnica e economicamente inviável. A prática comum de reinjeção profunda dessa água em poços de descarte tem sido restringida devido à indução de abalos sísmicos.

Nesse contexto, a tecnologia ASEC surge como a solução definitiva para o setor de óleo e gás norte-americano, permitindo a separação dos sais (valorizáveis) e a recuperação da água destilada para reuso no próprio processo de fraturamento. A *Environmental Protection Agency* (EPA) tem observado essas inovações para atualizar suas *Effluent Limitation Guidelines*, sinalizando que o descarte zero será, em breve, o padrão regulatório também para a indústria

de energia. Essa convergência global demonstra que a tecnologia ASEC reorganiza as cadeias de valor: nações que dominarem o ciclo de recuperação liderarão a nova ordem industrial, deixando para trás, os países que ainda discutem “limites de tolerância” para o lançamento de poluentes.

7. ANÁLISE JURÍDICA: A NOVA EXIGIBILIDADE

A emergência de tecnologias como a ASEC não apenas redefine as possibilidades técnicas de gestão de efluentes, mas também impulsiona uma profunda transmutação no arcabouço jurídico ambiental. O Direito, que historicamente se adaptou aos limites tecnológicos da época, agora se vê diante de inovações que permitem um nível de proteção ambiental antes inimaginável. Essa “nova exigibilidade” se manifesta na interpretação e aplicação de leis existentes, bem como, na necessidade de novas regulamentações que incorporem o princípio do Zero líquidos são concebidos. De meros “resíduos líquidos” a serem descartados, eles se tornam “fluxos de recursos” dos quais a água e os sólidos podem ser recuperados. O ZLD, promovido pela ASEC, alinha-se perfeitamente aos objetivos da PNRS, ao eliminar o descarte de efluentes e permitir a recuperação de materiais que, de outra forma, seriam perdidos. A responsabilidade compartilhada se estende à busca por soluções tecnológicas que minimizem a geração de resíduos em todas as etapas do ciclo de vida do produto. Édis Milaré destaca a importância da prevenção e da responsabilidade:

> A responsabilidade ambiental, em sua concepção moderna, transcende a mera reparação do dano. Ela se volta, primordialmente, para a prevenção e para a internalização dos custos ambientais pelo agente poluidor. A adoção de tecnologias que eliminam a geração de resíduos ou que permitem sua total recuperação é a expressão máxima dessa responsabilidade, configurando um dever de diligência que se impõe a todos os atores da cadeia produtiva. (MILARÉ, 2018, p. 1023).

A ASEC, ao oferecer uma solução para a eliminação de resíduos líquidos e a recuperação de sólidos, fortalece o arcabouço da PNRS, transformando a teoria da responsabilidade em prática efetiva.

7.1. A ANÁLISE ECONÔMICA DO DIREITO E O ESG

A análise econômica do direito (AED) oferece uma lente valiosa para compreender a adoção de tecnologias como a ASEC. A AED postula que as normas jurídicas devem ser desenhadas para promover a eficiência econômica, minimizando custos sociais e maximizando o bem-estar. No contexto ambiental, isso significa que a poluição deve ser internalizada pelos

agentes poluidores, e as soluções mais eficientes para sua mitigação devem ser incentivadas. A ASEC, ao reduzir drasticamente os custos de descarte de efluentes, os riscos de multas e passivos ambientais, e ao permitir a recuperação de recursos valiosos, apresenta um caso econômico convincente. Os investimentos em ASEC podem ser justificados não apenas pelo cumprimento regulatório, mas também pela geração de valor econômico. Essa perspectiva se alinha com os princípios de ESG (*Environmental, Social, and Governance*), que orientam investimentos e práticas corporativas sustentáveis. Empresas que adotam o ZLD e tecnologias como a ASEC demonstram um compromisso com a sustentabilidade ambiental (E), com a responsabilidade social (S) ao proteger comunidades e recursos hídricos, e com uma governança (G) que integra riscos e oportunidades ambientais em sua estratégia de negócios. A ASEC, portanto, não é apenas uma solução técnica, mas um ativo estratégico que melhora o perfil ESG de uma empresa, atraindo investidores e consumidores conscientes.

Em última análise, o acesso a tecnologias de saneamento avançado não é apenas uma questão industrial, mas de concretização da dignidade humana. Conforme preleciona Ingo Sarlet:

> "A dignidade da pessoa humana, em sua dimensão ecológica, pressupõe não apenas a sobrevivência física, mas a garantia de um padrão de qualidade ambiental que permita o pleno desenvolvimento da personalidade. A degradação ambiental, ao comprometer a saúde e a segurança, viola diretamente o núcleo essencial da dignidade." (SARLET, Ingo Wolfgang. A Eficácia dos Direitos Fundamentais. 10. ed. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2010, p. 115)

7.2. VEDAÇÃO AO RETROCESSO TECNOLÓGICO

O princípio da vedação ao retrocesso tecnológico, embora não explicitamente positivado na legislação brasileira, é um corolário do princípio da vedação ao retrocesso ambiental e do direito fundamental ao meio ambiente ecologicamente equilibrado. Ele implica que, uma vez alcançado um determinado patamar de proteção ambiental por meio de avanços tecnológicos, não se pode retroceder a padrões menos protetivos. A existência de uma tecnologia como a ASEC, que permite o Zero Liquid Discharge (ZLD) e a recuperação integral de recursos, estabelece um novo patamar de exigibilidade ambiental. Se é tecnicamente e economicamente viável eliminar o descarte de efluentes e recuperar a água e os sólidos, a manutenção de práticas que geram poluição e desperdício pode ser considerada um retrocesso. A vedação ao retrocesso tecnológico impõe aos reguladores e ao judiciário o dever de considerar as melhores tecnologias disponíveis (BAT - *Best Available Technology*) ao definir padrões de emissão e de tratamento. A ASEC, como uma BAT para o ZLD, eleva a barra para

a indústria, tornando cada vez mais difícil justificar a poluição como um “custo inevitável”. Esse princípio atua como um guardião da inovação ambiental, garantindo que os avanços tecnológicos sejam incorporados à prática regulatória e que a sociedade não seja privada dos benefícios de um ambiente mais limpo e de recursos mais abundantes.

Nesse sentido, leciona o constitucionalista J.J. Gomes Canotilho, alertando que o Estado não pode recuar nos níveis de proteção já atingidos:

> “O princípio da proibição do retrocesso social e ecológico nada mais é do que a garantia de que os níveis de proteção ambiental já alcançados não serão desmantelados por inércia legislativa ou administrativa. Uma vez que a técnica permite a proteção, o retorno à barbárie poluidora é inconstitucional." (CANOTILHO, J.J. Gomes. Direito Constitucional e Teoria da Constituição. 7. ed. Coimbra: Almedina, 2003, p. 320).

8. A POSIÇÃO DOS TRIBUNAIS SUPERIORES: RISCO INTEGRAL E INVERSÃO DO ÔNUS

A jurisprudência brasileira, atenta à complexidade dos danos modernos, consolidou o entendimento de que a atividade industrial carrega um risco intrínseco que não pode ser transferido à sociedade. É a materialização jurídica do conceito sociológico de “Sociedade de Risco”, descrito por Ulrich Beck. Essa postura rigorosa da jurisprudência reflete a necessidade de resposta aos perigos produzidos pela própria indústria, alinhando-se ao diagnóstico de Ulrich Beck sobre a modernidade:

Na modernidade avançada, a produção social de riqueza é acompanhada sistematicamente pela produção social de riscos. Os problemas e conflitos distributivos da sociedade da escassez são sobrepostos pelos problemas e conflitos que surgem da produção, definição e distribuição dos riscos científico-tecnológicos. (BECK, 2011, p. 23).

Nesse contexto, o Superior Tribunal de Justiça (STJ) consolidou o entendimento de que a responsabilidade civil ambiental é de natureza objetiva e adota a teoria do risco integral. Isso significa que, para a configuração do dever de indenizar, basta a comprovação do dano e do nexo de causalidade com a atividade do agente, independentemente da existência de culpa. A Súmula 618 do STJ, que estabelece que “A inversão do ônus da prova é cabível nas ações de responsabilidade civil ambiental”, reforça essa postura. A inversão do ônus da prova, nesse caso, não é uma faculdade do juiz, mas uma imposição legal e jurisprudencial que visa facilitar a defesa do polo hipossuficiente (a vítima ou o meio ambiente) e compelir o poluidor a demonstrar que sua atividade não causou o dano ou que o fez dentro dos limites legais.

O Recurso Especial (REsp) 1.374.284/MG, por exemplo, é um dos muitos julgados que reafirmam a aplicação da teoria do risco integral e a inversão do ônus da prova em casos de danos ambientais, consolidando uma linha jurisprudencial que busca a efetiva proteção do meio ambiente e a responsabilização integral do poluidor. A existência de tecnologias como a ASEC, que permitem o ZLD, torna ainda mais difícil para o poluidor alegar a impossibilidade técnica de evitar o dano, reforçando a exigibilidade de um padrão de conduta ambiental superior.

A adoção da Teoria do Risco Integral pelo STJ não é um mero formalismo, mas uma escolha ética e jurídica de proteção máxima. Nas palavras do Ministro Antonio Herman Benjamin, relator de acórdãos paradigmáticos sobre o tema:

> "Na responsabilidade civil por dano ambiental, a adoção da teoria do risco integral não admite excludentes de responsabilidade. O poluidor que aufere os lucros da atividade deve arcar integralmente com os riscos dela decorrentes, internalizando as externalidades negativas que, de outra forma, seriam suportadas por toda a coletividade. O poluidor-pagador não é um pagador de indulgências, mas um garantidor da reparação integral." (BENJAMIN, Antonio Herman. Responsabilidade Civil pelo Dano Ambiental. Revista de Direito Ambiental, São Paulo, v. 9, p. 34, 1998).

8.1. A PROVA DIABÓLICA REVERSA E O DEVER DE COMPLIANCE TECNOLÓGICO

A aplicação da teoria do risco integral e a inversão do ônus da prova em matéria ambiental geram o que se pode chamar de “prova diabólica reversa” para o agente poluidor. Se, por um lado, a vítima ou o Ministério Público não precisam provar a culpa do agente, por outro, o poluidor se vê na difícil posição de ter que provar que não causou o dano ou que o fez dentro dos limites aceitáveis, mesmo quando a causalidade é complexa ou difusa. Nesse cenário, o dever de *compliance* tecnológico emerge como uma estratégia essencial para as empresas. O *compliance* tecnológico não se limita ao mero cumprimento da legislação vigente, mas envolve a adoção proativa das melhores tecnologias disponíveis (BAT - *Best Available Technology*) para prevenir danos ambientais e garantir a sustentabilidade de suas operações.

A implementação de sistemas como a ASEC, que promovem o Zero Liquid Discharge (ZLD), torna-se um componente crítico desse *compliance*. Ao investir em tecnologias de ponta, a empresa não apenas minimiza seus riscos de passivos ambientais e litígios, mas também demonstra sua diligência e compromisso com a proteção ambiental, o que pode ser um fator decisivo em sua defesa judicial. O dever de *compliance* tecnológico, portanto, transcende a mera conformidade legal, transformando-se em um imperativo ético e estratégico para a

sustentabilidade e a reputação corporativa em um mundo cada vez mais exigente em termos ambientais.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A jornada da humanidade em busca do progresso é marcada por avanços que, por vezes, parecem contraditórios. Assim como Santos Dumont, ao voar, não apenas desafiou a gravidade, mas abriu os céus para a humanidade, a tecnologia ASEC, ao "voar" sobre os paradigmas convencionais de tratamento de efluentes, não apenas desafia a poluição, mas abre um novo horizonte para a gestão da água. A capacidade de transformar efluentes complexos em água pura e recursos valiosos, alcançando o Zero Liquid Discharge (ZLD), é um salto quântico que redefine a relação entre indústria e meio ambiente. Essa inovação não é um mero ajuste técnico; é um catalisador para uma profunda transformação jurídica e geopolítica. Juridicamente, a ASEC impulsiona novos marcos jurídicos, onde a vedação ao retrocesso tecnológico e a teoria do risco integral dos tribunais superiores se tornam mais contundentes, exigindo das empresas um *compliance* que vai além do mínimo legal. Geopoliticamente, ela reconfigura as cadeias de valor, conferindo vantagem competitiva às nações e indústrias que abraçam a economia circular da água, enquanto aquelas que persistem em modelos poluentes perdem relevância. "A ASEC reforça a necessidade de revisão de paradigmas regulatórios e industriais diante de riscos socioambientais complexos, em linha com o chamado do Manifesto Russell–Einstein para que a humanidade reconsidere suas escolhas à luz de ameaças existenciais e de responsabilidade coletiva (RUSSELL; EINSTEIN, 1955.)

A crise hídrica e ambiental exige um novo pensamento, uma nova tecnologia e uma nova ética. A ASEC é a materialização desse novo pensamento, oferecendo não apenas uma solução para a escassez, mas um caminho para a abundância sustentável. É a prova de que a engenharia, quando aliada à visão e à responsabilidade, pode, de fato, construir um futuro em que a prosperidade e a preservação ambiental caminham lado a lado.

REFERÊNCIAS

BECK, Ulrich. **Sociedade de Risco: rumo a uma outra modernidade**. São Paulo: Editora 34, 2011.

BENJAMIN, Antonio Herman. Responsabilidade Civil pelo Dano Ambiental. *Revista de Direito Ambiental*, São Paulo, v. 9, 1998.

BONNAIL, Estefania; OLMOS, Daniel; VERA, Sebastián. Toward a Cleaner Textile Industry: Using ASEC to Decrease the Water Footprint to Zero Liquid Discharge. **Water**, v. 15, n. 4, p. 817, 2023.

BONNAIL, Estefania; OLMOS, Daniel; VERA, Sebastián; CRUZADO, Alejandro. First Assessment of Effective Microplastics Removal from Textile Manufacturing Processes. **Applied Sciences**, v. 15, n. 1, p. 119, 2025.

BONNAIL, Estefania; VERA, Sebastián; OLMOS, Daniel; RUIZ, Francisco. Metal Pollution and Mining in the Iberian Pyrite Belt: New Remediation Technologies to Improve Ecosystem Services of Watersheds. **Water**, v. 15, n. 1, p. 34, 2023.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1981.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, DF: Presidência da República, 1997.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF: Presidência da República, 2010.

BRASIL. Superior Tribunal de Justiça. **Recurso Especial nº 1.374.284/MG**. Relator: Ministro Herman Benjamin. Segunda Turma. Julgado em 26/08/2014. DJe 05/09/2014.

BRASIL. Superior Tribunal de Justiça. **Súmula nº 618**. A inversão do ônus da prova aplica-se às ações de degradação ambiental. Brasília: DJe 24/10/2018.

CANOTILHO, José Joaquim Gomes. *Direito Constitucional e Teoria da Constituição*. 7. ed. Coimbra: Almedina, 2003.

ESPAÑA. **Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular**. Boletín Oficial del Estado, núm. 85, de 09/04/2022.

EUROPEAN COMMISSION. **The European Green Deal**. Brussels: COM(2019) 640 final, 2019.

LEITE, José Rubens Morato; AYALA, Patryck de Araújo. **Direito Ambiental na Sociedade de Risco**. 2. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2004.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Direito Ambiental Brasileiro**. 27. ed. São Paulo: Malheiros, 2020.

MILARÉ, Édis. **Direito do Ambiente**. 13. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2024.

ONU. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova York: Organização das Nações Unidas, 2015.

RUSSELL, Bertrand; EINSTEIN, Albert. *The Russell–Einstein Manifesto.* London, 1955. Disponível em: https://websites.umich.edu/~pugwash/Manifesto.html. Acesso em: 28 fev. 2026.,

SARLET, Ingo Wolfgang. *A Eficácia dos Direitos Fundamentais*. 10. ed. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2010

.