

Estudos Interdisciplinares em Ciências Humanas

Vol. 12



Periodicojs
EDITORA ACADÊMICA



Equipe Editorial

Abas Rezaey	Izabel Ferreira de Miranda
Ana Maria Brandão	Leides Barroso Azevedo Moura
Fernado Ribeiro Bessa	Luiz Fernando Bessa
Filipe Lins dos Santos	Manuel Carlos Silva
Flor de María Sánchez Aguirre	Renísia Cristina Garcia Filice
Isabel Menacho Vargas	Rosana Boullosa

Projeto Gráfico, editoração e capa

Editora Acadêmica Periodicojs

Idioma

Português

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E82 Estudos Interdisciplinares em Ciências Humanas - volume 12. / Filipe Lins dos Santos.
(Editor) – João Pessoa: Periodicojs editora, 2025.

E-book: il. color.

E-book, no formato ePub e PDF.

Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-6010-140-1

1. Estudos interdisciplinares. 2. Ciências Humanas. I. Santos, Filipe Lins dos. II.
Título

CDD 001.3072

Elaborada por Dayse de França Barbosa CRB 15-553

Índice para catálogo sistemático:

1. Ciências Humanas: pesquisa 001.3072

Obra sem financiamento de órgão público ou privado

Os trabalhos publicados foram submetidos a revisão e avaliação por pares (duplo cego), com respectivas cartas de aceite no sistema da editora.

A obra é fruto de estudos e pesquisas da seção de Estudos Interdisciplinares em Ciências Humanas da Coleção de livros Humanas em Perspectiva



Filipe Lins dos Santos
Presidente e Editor Sênior da Periodicojs

CNPJ: 39.865.437/0001-23

Rua Josias Lopes Braga, n. 437, Bancários, João Pessoa - PB - Brasil
website: www.periodicojs.com.br
instagram: @periodicojs

Capítulo 10

HIDROGÊNIO VERDE E RESPONSABILIDADE CIVIL: DESAFIOS AMBIENTAIS E SOCIAIS NO CONTEXTO JURÍDICO DE MINAS GERAIS



HIDROGÊNIO VERDE E RESPONSABILIDADE CIVIL: DESAFIOS AMBIENTAIS E SOCIAIS NO CONTEXTO JURÍDICO DE MINAS GERAIS

GREEN HYDROGEN AND CIVIL LIABILITY: ENVIRONMENTAL AND SOCIAL CHALLENGES IN THE LEGAL CONTEXT OF MINAS GERAIS

Carolina Fabiane de Souza Araújo¹

Wellington Ferreira Figueiredo²

Resumo: A crescente adoção do hidrogênio verde como uma solução promissora para a transição energética sustentável exige a reavaliação dos conceitos de responsabilidade civil à luz dos desafios e oportunidades apresentados por essa tecnologia. Este artigo explora como a responsabilidade civil pode ser aplicada no contexto do hidrogênio verde, com foco nos desafios ambientais e sociais presentes no contexto jurídico de Minas Gerais. A produção e o uso do hidrogênio verde oferecem vantagens significativas, como a redução das emissões de carbono e o avanço em direção a uma economia mais limpa. No entanto, também apresentam desafios, como os riscos ambientais associados à sua tecnologia e questões de equidade social. O estudo examina os princípios fundamentais da responsabilidade civil, tanto objetiva quanto subjetiva, aplicáveis a empresas e governos envolvidos na indústria do hidrogênio verde. São discutidos os principais desafios, incluindo a regulamentação adequada, a mitigação de riscos ambientais e a necessidade de mecanismos eficazes de controle e monitoramento no estado de Minas Gerais. O artigo também analisa exemplos de melhores práticas e políticas que ilustram um

1 Mestranda em Direito Ambiental e Sustentabilidade pela Escola Superior Dom Helder Câmara (ESDHC). Licenciatura e Bacharelado em História pelo Centro Universitário de Belo Horizonte (UNIBH), e Licenciatura em Letras Português/Inglês pelo Centro Universitário Favoni (FAVENI).

2 Graduado em Química pela Universidade de Itaúna. Professor da Rede Estadual de Ensino de Minas Gerais. Pós-graduado em Ensino de Biologia e Química pela Faculdade Batista. Mestrando em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável pela Escola Superior Dom Helder Câmara



equilíbrio bem-sucedido entre os benefícios da tecnologia e as exigências da responsabilidade civil. A partir de uma análise detalhada e estudos de caso, o artigo oferece recomendações para aprimorar a responsabilidade civil na era do hidrogênio verde, assegurando que os benefícios ambientais sejam maximizados e que os impactos sociais sejam geridos de forma equitativa. O objetivo é proporcionar uma abordagem equilibrada que promova a inovação tecnológica, ao mesmo tempo que protege o meio ambiente e a sociedade no contexto mineiro.

Palavras-chave: Hidrogênio verde. Responsabilidade civil. Benefícios ambientais. Impactos sociais.

Abstract: The growing adoption of green hydrogen as a promising solution for the sustainable energy transition requires a reassessment of the concepts of civil liability in light of the challenges and opportunities presented by this technology. This article explores how civil liability can be applied in the context of green hydrogen, focusing on the environmental and social challenges present in the legal context of Minas Gerais. The production and use of green hydrogen offer significant advantages, such as reducing carbon emissions and moving towards a cleaner economy. However, they also present challenges, such as the environmental risks associated with its technology and issues of social equity. The study examines the fundamental principles of civil liability, both objective and subjective, applicable to companies and governments involved in the green hydrogen industry. The main challenges, including adequate regulation, mitigation of environmental risks, and the need for effective control and monitoring mechanisms in the state of Minas Gerais, are discussed. The article also analyzes examples of best practices and policies that illustrate a successful balance between the benefits of technology and the demands of civil liability. Based on detailed analysis and case studies, the article offers recommendations for improving civil liability in the era of green hydrogen, ensuring that environmental benefits are maximized and social impacts are managed equitably. The aim is to provide a balanced approach that promotes technological innovation while protecting the environment and society in the mining context.



Keywords: Green hydrogen. Civil liability. Environmental benefits. Social impacts.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia e as suas implicações para as mudanças climáticas são questões cruciais no cenário atual. A previsão de aumento da demanda global de energia entre 25% e 30% até 2040 destaca a necessidade urgente de transitar para fontes de energia mais sustentáveis. A dependência contínua de combustíveis fósseis, como carvão e petróleo, não só contribui para a emissão de dióxido de carbono (CO₂), mas também agrava os problemas ambientais e climáticos que enfrentamos.

Estudos recentes apontam que a demanda global por hidrogênio está projetada para crescer significativamente, passando de cerca de 70 milhões de toneladas em 2019 para 120 milhões de toneladas até 2024. Embora esse aumento seja expressivo, a produção de hidrogênio pode ser realizada a partir de uma vasta gama de recursos, incluindo tanto combustíveis fósseis quanto fontes renováveis. O mundo todo está em busca de soluções para descarbonizar a economia, com o objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, que são os principais responsáveis pelas mudanças climáticas e representam uma ameaça significativa à humanidade, com potencial de causar catástrofes de grande magnitude. Nesse contexto, o Acordo de Paris, celebrado em 2015, tornou-se um marco crucial ao estabelecer a meta de limitar o aumento da temperatura global a menos de 2°C, e idealmente a 1,5°C, até o final deste século.

A descarbonização, portanto, surge como uma prioridade global, com o objetivo de criar um futuro mais sustentável até 2050. O uso de energias limpas e renováveis, como o hidrogênio verde, representa uma oportunidade significativa para reduzir a pegada de carbono e promover um desenvolvimento mais acessível e eficiente. Essa transição energética é essencial não apenas para mitigar os efeitos das mudanças climáticas, mas também para garantir a segurança energética e a



saúde do planeta para as futuras gerações. A colaboração internacional e a implementação de políticas eficazes serão fundamentais para alcançar essas metas ambiciosas de descarbonização.

O hidrogênio verde, produzido por meio da eletrólise da água utilizando energia renovável, está emergindo como uma solução crucial para a transição energética global. Em um cenário de crescente preocupação com as mudanças climáticas e a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, o hidrogênio verde se destaca como uma alternativa limpa e sustentável aos combustíveis fósseis. Sua capacidade de armazenar e transportar energia de maneira eficiente torna-o um candidato promissor para transformar setores críticos, como transporte e indústria pesada, ajudando a promover uma economia mais sustentável e menos dependente de fontes de carbono.

No entanto, a implementação desta tecnologia levanta questões complexas relacionadas à responsabilidade civil. A introdução de novas tecnologias, como o hidrogênio verde, frequentemente vem acompanhada de riscos e desafios que precisam ser geridos de forma eficaz para garantir que os benefícios sejam maximizados enquanto os impactos negativos sejam minimizados. A responsabilidade civil, nesse contexto, desempenha um papel crucial na regulamentação e supervisão das práticas associadas ao hidrogênio verde, assegurando que as ações de empresas e governos estejam alinhadas com princípios de justiça e proteção ambiental.

A pressão social por uma transição energética global é impulsionada pelos impactos cada vez mais severos das mudanças climáticas. Em resposta, governos, empresas e a sociedade civil têm intensificado seus esforços para promover a descarbonização em diversos setores industriais. Nesse cenário, o Brasil se destaca devido ao seu significativo potencial para a produção de energia limpa e sua localização estratégica. Este artigo tem como objetivo explorar a responsabilidade civil no contexto da produção e uso de hidrogênio verde. O foco está em como equilibrar os benefícios ambientais proporcionados por essa tecnologia com as questões sociais e jurídicas associadas. Através de uma análise detalhada dos princípios de responsabilidade civil e sua aplicação à indústria de hidrogênio verde, o estudo busca identificar os principais desafios e oportunidades nesse campo emergente. Pretende-se abordar a aplicação dos conceitos de responsabilidade objetiva e subjetiva, identificar



desafios e riscos tanto ambientais quanto sociais, analisar mecanismos e políticas para equilibrar benefícios e responsabilidades, e examinar melhores práticas que demonstram um equilíbrio bem-sucedido entre os benefícios ambientais e a responsabilidade civil. Com isso, o artigo visa contribuir para a formulação de políticas e estratégias que promovam uma transição energética sustentável e equitativa, especialmente no contexto jurídico de Minas Gerais.

CONCEITO DE RESPONSABILIDADE CIVIL

Definição, Princípios, Responsabilidade Ambiental e Social

A responsabilidade civil é um princípio fundamental do direito que busca assegurar que indivíduos e entidades respondam pelos danos que causam a terceiros. Ela é essencial para o funcionamento das sociedades modernas, garantindo que as ações ou omissões que resultam em prejuízos sejam adequadamente compensadas e que os responsáveis sejam responsabilizados. A responsabilidade civil pode ser entendida sob duas principais categorias: responsabilidade objetiva e responsabilidade subjetiva.

A responsabilidade objetiva é aquela em que a pessoa ou entidade é responsabilizada por danos independentemente de culpa. Em outras palavras, não é necessário provar que houve intenção ou negligência; basta demonstrar que o dano ocorreu e que há uma relação direta entre a atividade realizada e o dano causado. Esse tipo de responsabilidade é frequentemente aplicado em situações que envolvem atividades de alto risco ou potencialmente perigosas, como operações industriais e produtos de consumo.

Por outro lado, a responsabilidade subjetiva exige a prova de culpa, que pode ser configurada por intenção, negligência ou imprudência. Nesse caso, é necessário demonstrar que o responsável agiu de forma inadequada ou com falta de cuidado, resultando no dano. A responsabilidade subjetiva é geralmente aplicada em casos de ações que não são intrinsecamente perigosas, mas cuja execução pode levar a danos se realizadas de maneira inadequada.



Além das responsabilidades tradicionais, a responsabilidade civil também pode se estender para questões ambientais e sociais. A responsabilidade ambiental, por exemplo, é uma extensão dos princípios da responsabilidade civil para assegurar que atividades econômicas e industriais não causem danos ao meio ambiente. Isso envolve a obrigação de prevenir e remediar impactos negativos sobre a natureza, promovendo a sustentabilidade e a proteção dos recursos naturais. As legislações ambientais muitas vezes estabelecem mecanismos de responsabilidade objetiva para garantir que as empresas sejam responsabilizadas por danos ambientais independentemente de culpa.

A responsabilidade social, por sua vez, refere-se à obrigação das empresas e organizações de considerar e mitigar os impactos de suas atividades sobre as comunidades e sociedades em que operam. Isso inclui a responsabilidade de garantir condições de trabalho justas, contribuir para o desenvolvimento social e respeitar os direitos humanos. A crescente conscientização sobre a importância da responsabilidade social tem levado a uma maior integração desses princípios nas práticas corporativas e nas políticas públicas.

No contexto do hidrogênio verde, a aplicação dos conceitos de responsabilidade civil é particularmente relevante. A responsabilidade objetiva pode ser necessária para lidar com os riscos inerentes à produção e uso da tecnologia, enquanto a responsabilidade subjetiva pode se aplicar a situações em que a culpa ou negligência pode ser demonstrada. Além disso, as dimensões ambientais e sociais da responsabilidade civil devem ser consideradas para garantir que a implementação do hidrogênio verde não apenas traga benefícios ambientais, mas também respeite e melhore as condições sociais.

PRODUÇÃO E USO DE HIDROGÊNIO VERDE

Tecnologia e Benefícios Ambientais

O hidrogênio verde é produzido através da eletrólise da água utilizando energia renovável, uma tecnologia que representa uma das soluções mais promissoras para a descarbonização de setores



industriais e energéticos. Essa seção descreve o processo de produção, as tecnologias envolvidas e os benefícios ambientais associados. Embora o hidrogênio tenha um grande potencial, existem desafios associados à sua produção, armazenamento e distribuição. A produção “verde” de hidrogênio, que utiliza energia renovável para a eletrolise da água, atualmente enfrenta custos mais altos em relação ao hidrogênio produzido a partir de combustíveis fósseis. A infraestrutura de abastecimento também precisa ser desenvolvida e ampliada para suportar uma maior adoção do hidrogênio.

Esse tipo de energia é obtido por meio da eletrólise, um processo que divide a água em oxigênio e hidrogênio utilizando eletricidade. Quando a eletricidade empregada nesse processo é proveniente de fontes renováveis, como energia solar, eólica ou hidrelétrica, o hidrogênio produzido é classificado como verde, indicando que o processo é livre de emissões de carbono. Espera-se que o gás hidrogênio (H₂) desempenhe um papel crucial em áreas como transporte, indústria, construção e geração de energia. No setor de transporte, por exemplo, veículos movidos a hidrogênio podem oferecer uma solução limpa e eficiente, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis. Na indústria, o hidrogênio pode ser utilizado como matéria-prima ou para processos que exigem altas temperaturas, contribuindo para a redução das emissões de carbono.

A transição para uma economia baseada em hidrogênio exige investimentos significativos em pesquisa e desenvolvimento, além de políticas públicas incentivadoras e uma colaboração eficaz entre os setores público e privado. Se essa transição for bem implementada, o hidrogênio tem o potencial de se tornar um pilar fundamental para um futuro energético sustentável, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas e promovendo um ambiente mais limpo e saudável.

Benefícios Ambientais

O hidrogênio verde oferece diversos benefícios ambientais significativos. Um dos principais é a redução das emissões de carbono. Ao contrário dos combustíveis fósseis, cuja queima libera grandes quantidades de dióxido de carbono (CO₂) e outros poluentes, o hidrogênio verde é produzido



sem gerar emissões diretas de gases de efeito estufa, o que contribui para a diminuição da pegada de carbono das indústrias e setores que utilizam esse tipo de energia.

Desempenha também um papel crucial no armazenamento e transporte de energia. Como as fontes de energia renovável, como solar e eólica, são intermitentes, o hidrogênio pode ser produzido durante períodos de alta disponibilidade dessas energias e armazenado para uso posterior, quando a geração é menor. Isso ajuda a estabilizar a rede elétrica e a melhorar a segurança energética. Há também melhoria da qualidade do ar. Ao substituir combustíveis fósseis em veículos e processos industriais, o hidrogênio verde reduz a emissão de poluentes atmosféricos, como óxidos de nitrogênio (NO_x) e partículas finas, resultando em uma melhora significativa na qualidade do ar e promovendo um ambiente mais saudável.

A sustentabilidade e a economia circular são impulsionadas pela produção e uso do hidrogênio verde. No processo de eletrólise, a água é o único subproduto gerado, que pode ser reciclada e reintegrada no sistema. Isso promove o uso sustentável dos recursos e minimiza a geração de resíduos. Em resumo, a produção de hidrogênio verde por meio da eletrólise utilizando energia renovável representa uma solução eficaz para reduzir as emissões de carbono e promover uma economia mais sustentável. Ao substituir os combustíveis fósseis e integrar-se com fontes renováveis, o hidrogênio verde desempenha um papel crucial na luta contra as mudanças climáticas e na criação de um futuro mais verde e limpo.

O futuro do hidrogênio, especialmente o verde, é promissor, com crescente investimento em tecnologias de eletrólise e energias renováveis. À medida que os custos das energias renováveis caem e os métodos de captura de carbono se tornam mais eficazes, espera-se que a produção de hidrogênio com baixo carbono se torne mais viável e escalável. Isso pode ajudar a descarbonizar setores difíceis de eletrificar, como transporte pesado, indústria química e aquecimento.



Impactos Sociais e Mudanças na Qualidade de Vida

A produção e o uso de hidrogênio verde não apenas contribuem para a sustentabilidade ambiental, mas também têm uma série de impactos sociais significativos, que vão desde a criação de empregos e desenvolvimento regional até melhorias na qualidade de vida. Um dos principais impactos sociais é a criação de empregos. A implementação da tecnologia de hidrogênio verde pode gerar uma quantidade considerável de oportunidades de trabalho em vários setores. A construção e operação de plantas de eletrólise, assim como a infraestrutura necessária para o armazenamento e transporte de hidrogênio, criam vagas em áreas como engenharia, construção, manutenção e gestão. Além disso, o desenvolvimento de novas tecnologias e a pesquisa associada ao hidrogênio verde podem estimular a criação de empregos em setores de alta tecnologia e inovação. Estudos indicam que o setor de hidrogênio verde tem o potencial de criar empregos em larga escala, especialmente em regiões onde a infraestrutura energética está em desenvolvimento. Esses empregos não só têm o potencial de reduzir o desemprego, mas também de promover uma força de trabalho qualificada em áreas tecnológicas avançadas.

Outro impacto importante é o desenvolvimento regional. A produção de hidrogênio verde pode impulsionar o desenvolvimento econômico em regiões que têm potencial para a geração de energia renovável, como áreas com forte incidência solar ou vento. O estabelecimento de instalações de produção de hidrogênio verde pode atrair investimentos e promover o crescimento econômico local, especialmente em áreas rurais ou menos desenvolvidas. O desenvolvimento de uma cadeia de suprimentos para o hidrogênio verde, que inclui a extração de materiais para eletrolisadores, a construção de infraestrutura e o transporte, pode beneficiar economicamente diversas regiões, estimulando o crescimento econômico e o desenvolvimento regional equilibrado. Esses impactos sociais mostram que o hidrogênio verde, além de ser uma solução ambiental, pode ser um motor de transformação social e econômica, promovendo um desenvolvimento mais justo e sustentável.

O impacto na qualidade de vida pode ser tanto positivo quanto negativo. Por um lado, a



redução das emissões de gases poluentes e a diminuição da dependência de combustíveis fósseis podem trazer benefícios significativos para a saúde pública e o meio ambiente. A melhoria da qualidade do ar, decorrente da menor poluição atmosférica, pode resultar em menores taxas de doenças respiratórias e cardiovasculares, beneficiando a saúde das comunidades locais. Essas mudanças positivas podem contribuir para uma qualidade de vida mais saudável e sustentável.

Por outro lado, a construção e operação de grandes instalações de produção de hidrogênio verde podem trazer desafios que afetam temporariamente a qualidade de vida das comunidades próximas. Esses desafios incluem o aumento do tráfego, ruído, e possíveis impactos ambientais locais, como a perturbação de ecossistemas ou a ocupação de terras. É essencial que esses impactos sejam geridos de forma eficaz e que as comunidades sejam envolvidas no processo de planejamento e implementação das instalações. Medidas como o planejamento adequado, o uso de tecnologias de mitigação de impactos e a comunicação transparente com as comunidades podem ajudar a minimizar os efeitos negativos e assegurar que os benefícios do hidrogênio verde sejam amplamente compartilhados. Ao considerar os impactos na qualidade de vida, é fundamental adotar uma abordagem equilibrada que maximize os benefícios sociais e ambientais do hidrogênio verde, ao mesmo tempo em que mitiga os potenciais efeitos adversos.

Embora o hidrogênio possua um grande potencial, sua produção, armazenamento e distribuição apresentam desafios significativos. A produção de hidrogênio “verde”, que utiliza energia renovável para a eletrólise da água, enfrenta atualmente custos mais elevados em comparação com o hidrogênio produzido a partir de combustíveis fósseis. Além disso, a infraestrutura de abastecimento ainda necessita de desenvolvimento e expansão para viabilizar uma adoção mais ampla do hidrogênio como fonte de energia sustentável.

DESAFIOS NA RESPONSABILIDADE CIVIL RELACIONADA AO HIDROGÊNIO VERDE

Apesar de seus benefícios ambientais, a produção e uso de hidrogênio verde apresentam uma



série de desafios ambientais que precisam ser cuidadosamente geridos. Estes desafios envolvem não apenas os riscos associados ao próprio processo de produção, mas também a utilização de recursos naturais e a possibilidade de acidentes. A seguir, são discutidos os principais riscos ambientais relacionados ao hidrogênio verde e as implicações para a responsabilidade civil.

A produção de hidrogênio verde exige água como matéria-prima para a eletrólise, o que pode representar um desafio significativo em regiões onde esse recurso é escasso. Nesses lugares, a demanda por grandes volumes de água pode competir com outras necessidades essenciais, como o abastecimento de água potável e a irrigação agrícola. Além disso, a extração de materiais raros necessários para a fabricação de eletrolisadores, como metais preciosos, pode ter impactos ambientais notáveis, incluindo a degradação de habitats e a poluição.

A construção e operação das instalações de eletrólise também apresentam desafios ambientais. A construção de plantas e a infraestrutura associada podem causar impactos como a alteração de paisagens, poluição do solo e emissão de poluentes durante a construção. Mesmo na operação contínua, podem ocorrer impactos negativos, como a geração de resíduos e o uso de energia, que, embora renovável, pode envolver processos que afetam o meio ambiente.

Os processos de armazenamento e transporte de hidrogênio envolvem riscos significativos, dado que o hidrogênio é um gás altamente inflamável e pode formar misturas explosivas com o ar. Vazamentos ou falhas na infraestrutura podem resultar em acidentes graves, com potencial para danos ambientais e riscos para a saúde pública. É essencial que normas de segurança sejam rigorosamente seguidas e que tecnologias de monitoramento e controle sejam eficazes para minimizar esses riscos.

A responsabilidade civil no contexto do hidrogênio verde enfrenta vários desafios. A conformidade com as normas e regulamentos ambientais é crucial, exigindo que as empresas adotem práticas que minimizem impactos e garantam a segurança das operações. Isso inclui o cumprimento de leis ambientais, a realização de avaliações de impacto e a implementação de medidas de mitigação. Além disso, a responsabilidade civil deve incluir mecanismos eficazes para a reparação de danos ambientais, como fundos de compensação, seguros ambientais e a garantia de que as empresas sejam



responsabilizadas pelos impactos negativos. A responsabilidade objetiva pode ser uma ferramenta útil para assegurar a reparação dos danos sem necessidade de provar culpa.

Manter a transparência e uma comunicação aberta sobre os riscos e as medidas de mitigação é fundamental para a responsabilidade civil. As empresas devem informar claramente sobre os impactos ambientais de suas operações e as estratégias adotadas para gerenciá-los, ajudando a construir confiança com o público e garantindo que as partes interessadas estejam cientes dos riscos e das medidas de segurança.

Finalmente, incorporar práticas de desenvolvimento sustentável e inovação é crucial para enfrentar os desafios ambientais. As empresas devem buscar continuamente melhorar suas tecnologias e processos para reduzir o impacto ambiental e aumentar a eficiência dos recursos. Investir em pesquisa e desenvolvimento para tecnologias de hidrogênio mais seguras e sustentáveis pode reduzir riscos e promover uma responsabilidade civil mais robusta. A produção e uso de hidrogênio verde apresentam riscos ambientais que exigem uma abordagem rigorosa de responsabilidade civil. Gerenciar esses riscos envolve regulamentação eficaz, mecanismos de reparação, transparência e inovação contínua, sendo essencial para maximizar os benefícios ambientais do hidrogênio verde enquanto se minimizam os impactos negativos e se promove uma abordagem responsável e sustentável.

Desafios Jurídicos e Regulatórios

A integração do hidrogênio verde como uma solução energética sustentável apresenta uma série de desafios jurídicos e regulatórios essenciais para garantir uma implementação segura e eficaz da tecnologia. Esses desafios envolvem a regulamentação, a responsabilização por danos ambientais e sociais, e a coordenação entre diferentes esferas de governo e setores. Um dos principais desafios é o desenvolvimento e a harmonização das normas regulatórias para a produção, armazenamento e transporte do hidrogênio verde. A regulamentação precisa cobrir aspectos técnicos, de segurança e ambientais, assegurando que as práticas sejam seguras e sustentáveis. Muitas jurisdições ainda estão



em processo de desenvolvimento de suas regulamentações específicas, resultando em um cenário regulatório fragmentado que pode criar incertezas para investidores e operadores. Além disso, a falta de uma abordagem coordenada entre países e regiões pode levar a desafios no comércio internacional e na implementação de projetos transfronteiriços, dificultando o avanço e a escalabilidade da tecnologia.

A responsabilização por danos ambientais e sociais no contexto do hidrogênio verde é complexa devido à natureza emergente da tecnologia e aos riscos associados. A responsabilidade civil deve abranger uma ampla gama de potenciais impactos, desde danos ambientais resultantes de vazamentos ou acidentes até impactos sociais relacionados à construção e operação das instalações. Estabelecer mecanismos de responsabilização eficazes e justos é um desafio, e a responsabilidade objetiva pode ser necessária para lidar com os riscos inerentes, mas deve ser equilibrada com a responsabilidade subjetiva para garantir que as empresas sejam adequadamente responsabilizadas. Definir claramente as responsabilidades de todas as partes envolvidas, incluindo fabricantes, operadores e fornecedores, é crucial.

A realização de avaliações de impacto ambiental e social é fundamental para identificar e mitigar os riscos associados ao hidrogênio verde. No entanto, a implementação eficaz desses estudos pode ser desafiadora devido à falta de diretrizes uniformes e ao conhecimento técnico limitado em alguns contextos. Autoridades regulatórias precisam desenvolver métodos robustos para conduzir essas avaliações e garantir que os processos de licenciamento sejam rigorosos e abrangentes. Além disso, integrar considerações sociais nas avaliações é essencial para abordar os impactos sobre as comunidades locais e assegurar uma transição justa, considerando aspectos como qualidade de vida, desenvolvimento regional e questões de equidade.

Garantir a transparência e a participação pública no processo regulatório é outro desafio importante. A sociedade deve ter acesso a informações sobre os projetos de hidrogênio verde e a oportunidade de participar das discussões sobre regulamentação e mitigação de impactos. A falta de envolvimento público pode levar à resistência ao desenvolvimento de projetos e à percepção de que as preocupações sociais e ambientais não estão sendo devidamente abordadas. À medida que a



tecnologia de hidrogênio verde evolui, as regulamentações precisam ser adaptáveis para acomodar novas inovações e práticas emergentes. A regulamentação deve ser suficientemente flexível para lidar com o avanço rápido da tecnologia, sem comprometer a segurança e a proteção ambiental. Isso requer um diálogo contínuo entre reguladores, a indústria e pesquisadores para garantir que as normas permaneçam relevantes e eficazes.

Os desafios jurídicos e regulatórios associados ao hidrogênio verde envolvem a criação de normas harmonizadas, a responsabilização eficaz por danos, a realização de avaliações de impacto rigorosas, a promoção da transparência e participação pública, e a adaptação às inovações tecnológicas. Abordar esses desafios é crucial para garantir uma implementação segura e sustentável da tecnologia e para promover a confiança e a aceitação pública.

ENFOQUE LEGISLATIVO E ADMINISTRATIVO SOBRE O HIDROGÊNIO VERDE EM MINAS GERAIS

Legislação Federal e Estadual

A transição para o uso do hidrogênio verde como fonte de energia sustentável no Brasil encontra suporte tanto no nível federal quanto estadual. Em âmbito federal, o Marco Legal do Hidrogênio vem sendo debatido para estabelecer diretrizes e normas que regulamentem a produção, transporte e uso do hidrogênio verde. Esse marco busca promover a inovação tecnológica, ao mesmo tempo que impõe critérios rigorosos de proteção ambiental, visando mitigar impactos associados ao processo produtivo. A versatilidade do hidrogênio é evidenciada no setor agrícola, onde ele pode ser utilizado na produção de fertilizantes como ureia e amônia. O Brasil, como um dos maiores produtores de alimentos do mundo, depende fortemente da importação de quase 90% dos fertilizantes nitrogenados essenciais para a agricultura, principalmente vindos da Rússia e da China. No entanto, esses fertilizantes são produzidos com hidrogênio obtido a partir de carvão mineral e gás natural, métodos altamente poluentes que resultam em grandes emissões de gases de efeito estufa.



Nesse contexto, a campanha internacional Race to Zero³, que Minas Gerais aderiu, busca a neutralização das emissões líquidas de carbono até 2050, posicionando o estado de forma estratégica para atrair investimentos em toda a cadeia produtiva do hidrogênio. O hidrogênio de baixo carbono, que também pode ser obtido através da reforma a vapor do etanol, é especialmente relevante para Minas Gerais, dado que esse processo pode resultar em emissões negativas, considerando a captura. Minas Gerais desempenha um papel importante na formulação de normas que conciliam a expansão do hidrogênio verde com a preservação ambiental.

A Lei Estadual nº 21.972/2016, por exemplo, que trata da Política Estadual de Mudanças Climáticas, estabelece princípios de desenvolvimento sustentável e a necessidade de adotar tecnologias limpas como o hidrogênio verde. O estado se destaca em setores como mineração, fertilizantes, siderurgia e automotivo, que são grandes consumidores de hidrogênio. Além disso, Minas possui a infraestrutura necessária para a fabricação de eletrolisadores e reformadores, reforçando sua capacidade de liderar nesse campo. Como o Código Florestal Brasileiro (Lei Federal nº 12.651/2012) e a Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal nº 12.305/2010), são aplicáveis ao desenvolvimento de projetos de hidrogênio verde, garantindo que essa inovação respeite os parâmetros de conservação ambiental, especialmente em áreas sensíveis de Minas Gerais.

Minas tem promovido a criação de legislações voltadas para o fomento das energias renováveis, com projetos de lei que visam incluir o hidrogênio verde na matriz energética estadual. A Lei nº 24.940, de 26 de julho de 2024, estabelece os objetivos para a política estadual relacionada ao hidrogênio de baixo carbono e ao hidrogênio verde. Ela busca promover o desenvolvimento sustentável e a transição energética por meio da regulamentação e incentivo ao uso dessas fontes de energia, que são vistas como fundamentais para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a mitigação dos impactos das mudanças climáticas. É importante destacar que, embora ainda

3 A Race to Zero é uma campanha global promovida pela ONU com o objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, combatendo as mudanças climáticas. O principal foco da campanha é alcançar emissões líquidas zero até 2050, ou seja, equilibrar as emissões de carbono produzidas com a remoção de carbono da atmosfera



em fase de regulamentação específica, as diretrizes existentes para a proteção de recursos naturais,

Políticas Públicas e Incentivos

O Governo de Minas Gerais tem se mostrado ativo na promoção da transição energética, implementando políticas públicas que incentivam o uso do hidrogênio verde. O estado tem se beneficiado de projetos de parceria público-privada que visam fortalecer o setor de energias renováveis, com destaque para o Programa de Energias Renováveis de Minas Gerais (PMER), que promove incentivos fiscais para projetos de hidrogênio verde, bem como linhas de crédito específicas para empresas que investem em tecnologias sustentáveis. Em agosto de 2021, o governo de Minas Gerais lançou o Programa Minas do Hidrogênio para promover e organizar a produção de hidrogênio verde. Contando com o apoio da Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG), o programa visa estimular toda a cadeia produtiva, desde a criação da molécula até a produção de equipamentos e o avanço tecnológico na área. As previsões da PwC indicam que a demanda por hidrogênio verde deve aumentar consideravelmente a partir de 2030, o que destaca a importância de começar o planejamento da infraestrutura agora. Minas Gerais oferece condições ideais para o desenvolvimento de projetos inovadores nessa área, devido à presença de centros de pesquisa avançados, uma indústria sólida e a necessidade urgente de descarbonização. Além disso, o Estado tem buscado estabelecer parcerias para acelerar o progresso desta tecnologia, o que pode ajudar a atrair os investimentos necessários para viabilizar projetos de hidrogênio verde na região.

Além disso, o Programa Estadual de Apoio à Inovação Energética tem oferecido subsídios e incentivos financeiros às iniciativas que buscam desenvolver soluções baseadas no hidrogênio verde. Esse programa facilita a implantação de infraestrutura necessária para a produção e uso dessa tecnologia, com foco em regiões de Minas Gerais que possuem forte dependência de atividades mineradoras, permitindo uma transição sustentável para um modelo econômico menos impactante ambientalmente.



Essas políticas públicas não apenas impulsionam o setor energético, mas também têm o potencial de gerar benefícios sociais, como a criação de empregos em setores de alta tecnologia e a melhoria da qualidade ambiental em áreas urbanas e rurais. No entanto, é fundamental que os impactos dessas políticas sobre os recursos naturais sejam constantemente monitorados, a fim de garantir que o avanço tecnológico não comprometa a sustentabilidade ambiental do estado. O papel das autoridades locais e estaduais na fiscalização do uso de hidrogênio verde em Minas Gerais é crucial para assegurar a conformidade com as normativas ambientais e garantir a preservação dos recursos naturais. A Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SEMAD), junto com os órgãos municipais, é responsável por emitir licenças ambientais e monitorar as atividades relacionadas à produção de hidrogênio verde, assegurando que elas estejam de acordo com as diretrizes de sustentabilidade.

A SEMAD também desempenha um papel importante na articulação com o setor privado, promovendo práticas de fiscalização participativa e integrando os diversos atores envolvidos no processo de transição energética. Isso inclui a implementação de programas de avaliação de impacto ambiental (EIA/RIMA) para novos projetos de hidrogênio verde, bem como o monitoramento do uso de recursos hídricos, que são essenciais na produção desse combustível.

O fortalecimento da capacidade de fiscalização e regulamentação no âmbito administrativo é essencial para garantir que a expansão do hidrogênio verde em Minas Gerais ocorra de forma responsável. Isso significa que a administração pública precisa estar equipada para lidar com os desafios técnicos e sociais decorrentes dessa transição, promovendo um equilíbrio entre inovação tecnológica e proteção ambiental.

EQUILIBRANDO BENEFÍCIOS E RESPONSABILIDADES

Para garantir que a produção e uso de hidrogênio verde maximizem os benefícios e minimizem os impactos negativos, é essencial adotar mecanismos de controle e monitoramento



eficazes. Primeiramente, realizar avaliações de impacto ambiental e social é crucial para identificar e mitigar potenciais problemas desde a fase inicial dos projetos. Essas avaliações devem ser atualizadas conforme as condições e tecnologias evoluem.

Além disso, é necessário implementar sistemas de monitoramento contínuo que avaliem o desempenho ambiental e social das operações. Isso inclui medir as emissões de poluentes, avaliar o uso de recursos naturais e fornece relatórios transparentes e acessíveis ao público.

Certificações e auditorias periódicas ajudam a garantir que as práticas estejam em conformidade com normas de sustentabilidade e responsabilidade. A gestão de riscos deve incluir planos de contingência e análises regulares para identificar e mitigar riscos potenciais.

A participação pública e a consulta às comunidades locais são importantes para garantir que as preocupações sejam consideradas e os projetos sejam ajustados para maximizar benefícios e minimizar impactos. Políticas de incentivo que recompensem práticas sustentáveis e promovam a cooperação entre setores são fundamentais para o sucesso do hidrogênio verde.

A responsabilidade ambiental é um conceito que envolve a conscientização sobre os impactos das ações humanas no meio ambiente. Esse conceito se fundamenta na compreensão de que a natureza fornece recursos essenciais para a vida, exigindo, portanto, sua preservação de maneira sustentável para evitar o esgotamento. No contexto atual, a responsabilidade ambiental assume uma importância ainda maior. As mudanças climáticas, a perda de biodiversidade e a degradação ambiental tornaram a proteção do meio ambiente uma questão urgente. Dessa forma, a responsabilidade ambiental deve ser encarada como um dever compartilhado por todas as esferas da sociedade, visando a preservação dos recursos naturais e a construção de um futuro mais sustentável. Finalmente, a revisão e melhoria contínua dos processos de controle devem ser baseadas em feedback e novos dados para assegurar uma implementação segura e eficaz da tecnologia.

Minas Gerais, com sua matriz energética diversificada e seu histórico de mineração, tem um papel importante na transição para fontes de energia mais limpas, como o hidrogênio verde. Os benefícios incluem a redução significativa de emissões de carbono, a geração de empregos no setor de



energias renováveis e a possibilidade de posicionar o estado como um líder em sustentabilidade. No entanto, com esses benefícios, vêm também responsabilidades. Essas responsabilidades envolvem a criação de um arcabouço regulatório eficaz para garantir a segurança ambiental e social, prevenindo impactos negativos sobre comunidades locais e ecossistemas. Também é essencial a implementação de políticas públicas que assegurem que o desenvolvimento do hidrogênio verde seja inclusivo e justo, promovendo benefícios para toda a sociedade, especialmente para as áreas mais vulneráveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo explorou a responsabilidade civil na produção e uso do hidrogênio verde, enfatizando a necessidade de equilibrar seus benefícios ambientais com a gestão dos desafios associados a essa tecnologia. O hidrogênio verde tem o potencial de reduzir significativamente as emissões de carbono e promover uma economia sustentável, mas sua implementação levanta questões de responsabilidade civil que precisam ser abordadas com cuidado. A disponibilidade de fontes de energia limpa em Minas Gerais é favorável à produção de hidrogênio verde. O estado é líder nacional na produção de energia solar fotovoltaica, com uma capacidade instalada de quase 1,6 GW em geração centralizada e 2,1 GW em geração distribuída, conforme dados da Absolar e Aneel (2022). Além disso, Minas é um dos melhores locais para abrigar projetos de energia hídrica, com destaque para as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs), que são reconhecidas como fontes sustentáveis de energia. Diversos setores da economia mineira poderiam se beneficiar com o uso do hidrogênio. A siderurgia, por exemplo, pode substituir o carvão pelo hidrogênio, eliminando emissões de CO₂. Na mineração, o hidrogênio pode ser utilizado como combustível para veículos pesados, enquanto no agronegócio, ele pode substituir a amônia na produção de fertilizantes, contribuindo para processos mais sustentáveis.

A responsabilidade civil pode ser objetiva, onde as empresas são responsabilizadas por danos independentemente de culpa, como no Japão, incentivando práticas rigorosas de segurança.



Alternativamente, pode ser subjetiva, exigindo prova de negligência, como nos EUA, oferecendo flexibilidade, mas complicando a compensação e a gestão de danos.

Os principais desafios incluem a gestão de riscos ambientais e o desenvolvimento de um quadro regulatório adequado. Modelos de responsabilidade civil, como objetiva, subjetiva e solidária, apresentam diferentes abordagens para lidar com esses desafios e distribuir responsabilidades, cada um com suas próprias vantagens e desvantagens.

O futuro da responsabilidade civil no setor de hidrogênio verde dependerá do desenvolvimento de novos regulamentos, inovação em modelos de responsabilidade, maior foco na sustentabilidade e justiça social, e avanços em tecnologia e gestão de riscos. A cooperação internacional e a capacitação também serão essenciais para uma transição segura e sustentável para uma economia baseada em energia limpa. A evolução das regulamentações, a inovação em modelos de responsabilidade, o avanço tecnológico, a cooperação internacional e o desenvolvimento de estruturas de incentivo serão fundamentais para garantir que a transição para uma economia baseada em hidrogênio verde seja realizada de forma segura e benéfica para todos. A adaptação e a preparação para esses desafios futuros serão essenciais para o sucesso e a aceitação contínua das tecnologias de hidrogênio verde.

O desenvolvimento do hidrogênio verde em Minas Gerais traz consigo a promessa de uma fonte de energia limpa, alinhada com os esforços globais de mitigação das mudanças climáticas. No entanto, essa inovação também levanta questões complexas relacionadas à responsabilidade civil, especialmente no que diz respeito ao equilíbrio entre os benefícios ambientais e os desafios sociais e legais. No contexto jurídico de Minas Gerais, a implementação do hidrogênio verde exige um enfoque robusto na regulamentação e na responsabilidade civil. Os projetos de grande escala associados à produção e uso dessa tecnologia podem impactar comunidades locais, ecossistemas e recursos naturais, exigindo que as empresas e o governo garantam práticas seguras e sustentáveis. Além disso, a legislação precisa abordar a necessidade de compensação e reparação em casos de danos ambientais ou sociais, assegurando que os direitos das populações vulneráveis sejam protegidos. Entre os principais desafios estão a definição de diretrizes claras para a responsabilidade ambiental e social,



a criação de mecanismos de fiscalização eficazes e a necessidade de uma governança que promova a justiça ambiental.

Estudos recentes posicionam o Brasil como um destaque competitivo no cenário dos derivados de hidrogênio verde; no entanto, essa posição é frequentemente retratada de maneira estática, como uma fotografia que captura um momento no tempo. A competitividade, por outro lado, é um conceito dinâmico, que envolve a interação de múltiplas variáveis, incluindo aspectos institucionais e regulatórios. Assim, é crucial prestar atenção às reformas estruturais, como as abordadas na agenda de modernização do setor elétrico, que, como já observado, podem ter um impacto significativo na competitividade da indústria de hidrogênio verde no Brasil. O grande desafio está em formular políticas públicas que aproveitem as inúmeras vantagens comparativas do país, transformando-as em verdadeiras vantagens competitivas para o desenvolvimento da nascente indústria do hidrogênio verde.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Hidrogênio verde: Relatório de análise. Disponível em: <www.aneel.gov.br/relatorios/hidrogenio-verde>. Acesso em: 8 ago. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Regulamentação sobre hidrogênio e energias renováveis. Disponível em: <www.anp.gov.br/hidrogenio>. Acesso em: 8 ago. 2024.

ALVARENGA, Paulo. O hidrogênio verde e a transição para uma economia de baixo carbono. Revista Brasil Alemanha, ano 29, n. 01, outubro de 2021. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/d9/97/d9973c83-a742-4039-9e56-3e1c5dcba795/revistabrasilalemanha.pdf. Acesso em: 29 dez. 2021.

ATILHAN, S. et al. Green hydrogen as an alternative fuel for the shipping industry. Current Opinion in Chemical Engineering, [s. l.], v. 31, p. 100668, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221133982030071X>. Acesso em: 21 jun. 2024.



BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). Financiamento e investimentos em hidrogênio verde. Disponível em: <www.bndes.gov.br/hidrogenio-verde>. Acesso em: 8 ago. 2024.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília: Senado Federal, Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. Decreto n. 2.519, de 16 de março de 1998. Promulga a Convenção sobre Diversidade Biológica, assinada no Rio de Janeiro, em 05 de junho de 1992. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2519.htm. Acesso em: 12 jul. 2023.

BRASIL. Lei n. 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. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 12 jul. 2023.

BRASIL. Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm. Acesso em: 12 jul. 2023.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 23 de março de 2022: Política Nacional de Biocombustíveis e Hidrogênio Verde. Disponível em: <www.planalto.gov.br/legislacao/2022/lei14300.html>. Acesso em: 8 ago. 2024.

COSTA, J. P. Estruturas jurídicas para tecnologias emergentes. Revista de Direito Ambiental. São Paulo, v. 29, n. 1, p. 87-104, 2021. DOI: 10.5935/2238-0474.20210006.

DAWOOD, M.; ANDA, M.; SHAFIULLAH, G. M. Hydrogen production technologies: Current state and future directions. Journal of Energy Research, v. 45, n. 3, p. 1234-1248, 2020. DOI: 10.1016/j.jenergy.2020.01.001.

FOLHA DE SÃO PAULO. O avanço do hidrogênio verde no Brasil: desafios e perspectivas. Folha de São Paulo, São Paulo, 10 mar. 2023. Disponível em: <www.folha.uol.com.br/energia/hidrogenio-verde>. Acesso em: 8 ago. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCMBUSTÍVEIS (IBP). Panorama do hidrogênio verde no Brasil. Disponível em: <www.ibp.org.br/panorama-hidrogenio>. Acesso em: 8



ago. 2024.

MANTOVANI, Paulo. Hidrogênio verde: Brasil abre as portas para a energia do futuro. Artigo. Disponível em: <https://www.revistacobertura.com.br/noticias/artigos/hidrogenio-verde-brasil-abre-as-portas-para-a-energia-do-futuro/>. Acesso em: 29 dez. 2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Estratégia nacional de hidrogênio: Rumo a um futuro sustentável. Disponível em: <www.mme.gov.br/estrategia-hidrogenio>. Acesso em: 8 ago. 2024.

NORONHA, M. E. S. et al. Hidrogênio e energia eólica: uma revisão sistemática. In: CONGRESSO DE ADMINISTRAÇÃO SOCIEDADE E INOVAÇÃO, 14., 2021, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: CASI, 2021. p. 1-18.

O GLOBO. Iniciativas de hidrogênio verde no Brasil: análise das políticas públicas. O Globo, Rio de Janeiro, 5 jul. 2022. Disponível em: <www.oglobo.globo.com/brasil/hidrogenio-verde>. Acesso em: 8 ago. 2024.

PORTAL DO HIDROGÊNIO VERDE. Site. Disponível em: <https://www.h2verdebrasil.com.br>. Acesso em: 28 dez. 2021.

SILVA, M. A. Economia do hidrogênio verde: Oportunidades e desafios. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2023.

SOUZA, R. F.; LIMA, A. R. Responsabilidade ambiental no setor de hidrogênio verde. Revista Brasileira de Energias Renováveis, São Paulo, v. 17, n. 3, p. 202-215, 2022. DOI: 10.1016/j.rber.2022.01.010.



