



## **Entre Oportunidade e Adequação Regulatória: Desafios do Hidrogênio Verde Brasileiro frente às Exigências da União Europeia**

**Isabel Veloso**

Professora, PhD - FGV Direito Rio, Brasil

isabel.veloso@fgv.br

ORCID iD 0000-0001-9114-4840

**Léa Guillaumier**

Visiting researcher, FGV RIO Law, Brazil

lea.guillaumier@scienspo-lille.eu

ORCID iD 0009-0007-7158-3556

Submissão: 19/08/2025

Aceite: 18/10/2025

VELOSO, Isabel; GUILLAUMIER, Léa. Entre Oportunidade e Adequação Regulatória: Desafios do Hidrogênio Verde Brasileiro frente às Exigências da União Europeia. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S. l.], v. 21, n. 2, 2025.

DOI: [10.17271/1980082721220256156](https://doi.org/10.17271/1980082721220256156). Disponível

em: [https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum\\_ambiental/article/view/6156](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/6156).

Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Entre Oportunidade e Adequação Regulatória: Desafios do Hidrogênio Verde Brasileiro frente às Exigências da União Europeia

### RESUMO

**Objetivo** - Analisar os desafios regulatórios do Brasil para adequar sua produção de hidrogênio verde ( $H_2V$ ) e derivados, como o aço verde, às exigências da União Europeia.

**Metodologia** - Análise documental de marcos regulatórios do Brasil e da União Europeia e estudo de caso comparativo sobre o modelo alemão de regulação do hidrogênio.

**Originalidade/relevância** - Análise do descompasso entre o potencial exportador de  $H_2V$  do Brasil e a inadequação de seu arcabouço regulatório frente às normas da UE. A relevância está em discutir a convergência regulatória como fator crítico para a competitividade brasileira na economia de baixo carbono.

**Resultados** - Os resultados apontam que o marco regulatório nacional é insuficiente e desalinhado dos critérios europeus de adicionalidade, temporalidade e rastreabilidade. A ausência de um sistema de certificação emerge como o principal entrave à exportação do  $H_2V$  e do aço verde, comprometendo a competitividade do país.

**Contribuições teóricas/metodológicas** - O trabalho articula os campos da regulação energética, política industrial e comércio internacional no contexto da transição energética.

**Contribuições sociais e ambientais** - No âmbito social, o estudo subsidia políticas para a reindustrialização verde. Ambientalmente, indica como o Brasil pode materializar seu potencial para acelerar a descarbonização global, viabilizando a exportação de hidrogênio de baixa emissão de carbono e seus derivados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Transição Energética. Hidrogênio Verde. Regulação.

## Between Opportunity and Regulatory Alignment: Challenges for Brazilian Green Hydrogen in Meeting European Union Standards

### ABSTRACT

**Objective** – This study aims to analyze the regulatory challenges faced by Brazil in aligning its green hydrogen ( $GH_2$ ) and derivative production, such as green steel, with the requirements established by the European Union (EU).

**Methodology** – The research is based on a documentary analysis of regulatory frameworks in both Brazil and the EU, complemented by a comparative case study of the German hydrogen regulation model.

**Originality/Relevance** – The paper highlights the regulatory gap between Brazil's export potential for  $GH_2$  and the misalignment of its domestic framework with EU standards. The relevance lies in discussing regulatory convergence as a critical factor for Brazil's competitiveness in a low-carbon global economy.

**Findings** – The results indicate that Brazil's current regulatory framework is insufficient and misaligned with key European criteria, particularly regarding additionality, temporal correlation, and traceability. The absence of a national certification system emerges as the main barrier to the export of  $GH_2$  and green steel, undermining the country's global competitiveness.

**Theoretical/Methodological Contributions** – This study bridges the fields of energy regulation, industrial policy, and international trade within the context of the energy transition.

**Social and Environmental Contributions** – On the social front, the research informs policy design for green reindustrialization. From an environmental perspective, it outlines how Brazil can leverage its renewable potential to accelerate global decarbonization by enabling the export of low-carbon hydrogen and its derivatives.

**KEYWORDS:** Energy Transition. Green Hydrogen. Regulation.



## **Entre la Oportunidad y la Adecuación Regulatoria: Desafíos del Hidrógeno Verde Brasileño frente a las Exigencias de la Unión Europea**

### **RESUMEN**

**Objetivo** – Analizar los desafíos regulatorios que enfrenta Brasil para adecuar su producción de hidrógeno verde ( $H_2V$ ) y sus derivados, como el acero verde, a las exigencias de la Unión Europea (UE).

**Metodología** – Análisis documental de los marcos normativos de Brasil y de la Unión Europea, complementado por un estudio de caso comparativo del modelo alemán de regulación del hidrógeno.

**Originalidad/relevancia** – El estudio examina la brecha entre el potencial exportador de  $H_2V$  de Brasil y la insuficiencia de su marco normativo frente a las normativas europeas. Su relevancia radica en discutir la convergencia regulatoria como un factor clave para la competitividad brasileña en la economía global baja en carbono.

**Resultados** – Los resultados indican que el marco regulatorio nacional es insuficiente y se encuentra desalineado con los criterios europeos de adicionalidad, correlación temporal y trazabilidad. La ausencia de un sistema nacional de certificación surge como el principal obstáculo para la exportación de  $H_2V$  y acero verde, comprometiendo la competitividad del país.

**Contribuciones teóricas/metodológicas** – El trabajo articula los campos de la regulación energética, la política industrial y el comercio internacional en el contexto de la transición energética.

**Contribuciones sociales y ambientales** – En el ámbito social, el estudio aporta insumos para la formulación de políticas de reindustrialización verde. En el plano ambiental, señala cómo Brasil puede materializar su potencial para acelerar la descarbonización global, posibilitando la exportación de hidrógeno de bajas emisiones de carbono y sus derivados.

**PALABRAS CLAVE:** Transición Energética. Hidrógeno Verde. Regulación.

## 1 INTRODUÇÃO

A transição para uma economia global de baixo carbono impõe desafios complexos, sobretudo para a descarbonização de setores industriais de difícil abatimento (*hard-to-abate*)<sup>1</sup>. Entre os setores *hard-to-abate*, destacam-se os segmentos industriais de alta intensidade energética, como o da siderurgia, além dos transportes marítimo, aéreo e rodoviário de carga<sup>2</sup>. Juntos, esses setores respondem por cerca de 50% das emissões globais de CO<sub>2</sub> e, se as tendências atuais continuarem, suas emissões poderão aumentar significativamente até 2050<sup>3</sup>. A transição deles é particularmente desafiadora e lenta, pois muitos planos climáticos nacionais dedicam pouca atenção específica a essas áreas<sup>4</sup>, devido a obstáculos técnicos, econômicos e políticos, além da imaturidade de algumas tecnologias de baixo carbono<sup>5</sup>. Além disso, estudos recentes indicam que a confiabilidade e eficiência dos sistemas de transmissão HVDC são essenciais para a integração de fontes renováveis em larga escala, contribuindo para a redução de falhas e perdas energéticas.<sup>6</sup>

Nesse contexto, diversas soluções tecnológicas e vetores energéticos vêm sendo explorados, dentre os quais o hidrogênio de baixa emissão, em particular, o hidrogênio verde (H<sub>2</sub>V)<sup>7</sup>, emerge como uma alternativa promissora. Na União Europeia, por exemplo, o H<sub>2</sub>V foi integrado às estratégias de segurança energética e de política industrial<sup>8</sup>, refletindo um esforço para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e fomentar novas cadeias de valor. Em contrapartida, nações com vastos recursos renováveis, como o Brasil, vislumbram a oportunidade de se posicionar como fornecedores estratégicos nesse novo mercado.

<sup>1</sup> OECD, 2025. Hydrogen in steel: addressing emissions and dealing with overcapacity. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development. Disponível em: [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/03/hydrogen-in-steel\\_f4d15f8d/7e2edc69-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/03/hydrogen-in-steel_f4d15f8d/7e2edc69-en.pdf) (Acesso em: 20/04/2025)

<sup>2</sup> OECD, 2025. **Hydrogen in steel**: addressing emissions and dealing with overcapacity. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development. Disponível em: [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/03/hydrogen-in-steel\\_f4d15f8d/7e2edc69-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/03/hydrogen-in-steel_f4d15f8d/7e2edc69-en.pdf) Acesso em: 12 jul. 2025.

<sup>3</sup> GROPPY, D. et al. Energy modelling challenges for the full decarbonisation of hard-to-abate sectors. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 209, p. 115103, 2025. ISSN 1364-0321. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115103> . Acesso em: 12 ago. 2025.

<sup>4</sup> ENERGY TRANSITIONS COMMISSION (ETC). **Mission Possible**: Reaching net-zero carbon emissions from harder-to-abate sectors by mid-century. London, nov. 2018. 172 p. Disponível em: [https://www.energy-transitions.org/wp-content/uploads/2020/08/ETC\\_MissionPossible\\_FullReport.pdf](https://www.energy-transitions.org/wp-content/uploads/2020/08/ETC_MissionPossible_FullReport.pdf) . Acesso em: 12 ago. 2025.

<sup>5</sup> GROPPY, D. et al. Energy modelling challenges for the full decarbonisation of hard-to-abate sectors. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 209, p. 115103, 2025. ISSN 1364-0321. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115103> . Acesso em: 12 ago. 2025.

<sup>6</sup> MELO, Messias Silva de; LOPES NETO, Guilherme Alexandre; BERTHO JUNIOR, Rui; BRANCO, Hermes Manoel Galvão. Localização de faltas em sistemas HVDC utilizando Perceptron Multicamadas e Transformada Wavelet Packet: uma abordagem sustentável para a integração de energias renováveis. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 21, n. 1, 2025. Disponível em: [https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum\\_ambiental/article/view/5589](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/5589) . Acesso em: 24 set. 2025.

<sup>7</sup> Produzido por meio da eletrólise da água com uso de energia renovável, em particular de fontes solar e eólica.

<sup>8</sup> UNIÃO EUROPEIA. Comissão Europeia. **Uma estratégia do hidrogénio para uma Europa neutra em clima** [COM(2020) 301 final]. Bruxelas: Comissão Europeia, 2020. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/ALL/?uri=CELEX:52020DC0301> . Acesso em: 12 ago. 2025.

A efetivação dessa oportunidade, no entanto, não é um processo isento de complexidades. Ela está condicionada à superação de barreiras de natureza técnica, econômica e, crucialmente, regulatória. Em particular, a União Europeia tem desenvolvido um arcabouço normativo que funciona como um padrão para o mercado global, estabelecendo critérios rigorosos de validação para o hidrogênio, considerado verde, e seus derivados. Instrumentos como o Regulamento da Taxonomia e a Diretiva de Energia Renovável (RED II/III) definem pré-requisitos técnicos — como adicionalidade, temporalidade e rastreabilidade — que a produção de países terceiros deve cumprir para acessar o mercado europeu. Essa dinâmica cria um cenário de convergência regulatória compulsória para nações que, como o Brasil, almejam exportar tais commodities.

Nesse panorama de desafios e oportunidades, este artigo se propõe a investigar um problema central: quais são os principais obstáculos regulatórios que o Brasil precisa transpor para que sua produção de hidrogênio verde e derivados industriais seja compatível com os critérios de sustentabilidade definidos pela União Europeia? De forma complementar, busca-se entender em que medida o modelo regulatório alemão pode oferecer subsídios para o desenho da estratégia brasileira. Assim, o objetivo deste trabalho é analisar os desafios da convergência regulatória para o Brasil no campo do hidrogênio verde, com foco no alinhamento de seus sistemas de produção e certificação aos padrões europeus e no potencial de desenvolvimento de uma indústria siderúrgica de baixo carbono.

A tese central aqui defendida é que o arcabouço normativo-institucional brasileiro para o hidrogênio é, no presente momento, incipiente e insuficiente para assegurar o alinhamento automático às exigências europeias. Argumenta-se que a regulação da UE atua como um indutor exógeno, pressionando pela modernização e sofisticação das políticas domésticas, ao mesmo tempo que representa uma janela de oportunidade para o Brasil agregar valor a seus recursos energéticos. Para desenvolver essa tese, o artigo examina a arquitetura regulatória europeia, diagnostica o quadro normativo nacional e utiliza o caso alemão como referência para, ao final, delinear os caminhos e as condições para a inserção estratégica do Brasil na nascente economia global do hidrogênio verde.

## 2 O PAPEL DO HIDROGÊNIO VERDE NA DESCARBONIZAÇÃO INDUSTRIAL EUROPEIA

### 2.1 Metas climáticas da UE e o papel do H<sub>2</sub>V

Ao longo da última década, a União Europeia (UE) tem consolidado uma trajetória ambiciosa de transição energética e descarbonização. Desde 2014, com a meta de reduzir em 40% as emissões de gases com efeito de estufa até 2030 (em comparação com 1990). Essa ambição foi intensificada com o Pacto Ecológico Europeu (*Green Deal*), que visa alcançar a neutralidade climática até 2050 e levou ao aumento da meta de redução para 55% até 2030, no âmbito do pacote “*Fit for 55*”<sup>9</sup>.

A crise energética resultante da invasão da Ucrânia em 2022 acelerou essa transição, ao evidenciar a dependência europeia de combustíveis fósseis e a necessidade urgente de segurança

---

<sup>9</sup> EUROPEAN COMMISSION. *Going climate-neutral by 2050: a strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate-neutral EU economy*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019. Disponível

energética<sup>10</sup>. Como resposta, a UE expandiu a produção de energia limpa, destacando-se no cenário global pela rápida adoção de fontes como solar e eólica que, em 2024, responderam por 29% da eletricidade gerada na região. Apesar desses avanços, o mix energético da UE ainda contém uma presença significativa de petróleo (32%) e gás natural (25%)<sup>11</sup>, exigindo esforços adicionais para a completa descarbonização, sobretudo nos setores de transporte e indústria<sup>12</sup>.

Nesse contexto, o hidrogênio verde<sup>13</sup> vem sendo considerado como tecnologia-chave para descarbonizar setores difíceis de eletrificar, como setores industriais intensivos em energia e o transporte de longa distância<sup>14</sup>. Mais especificamente, desde 2019, a UE tem promovido ativamente o desenvolvimento de uma economia do hidrogênio, com a publicação da *European Hydrogen Energy Roadmap pelo Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking* (FCH JU). Este roteiro identificou o hidrogênio, em especial o produzido a partir de fontes renováveis, como vetor essencial para atingir os objetivos climáticos da UE. Ele propôs o desenvolvimento de infraestruturas, a implementação tecnológica e a formação de uma força de trabalho especializada nesse setor<sup>15</sup>.

A importância do hidrogênio verde foi reforçada por meio do *Green Deal Europeu*, lançado em 2021, que mobiliza até €1 trilhão em investimentos e desencadeou um forte impulso na inovação e produção de hidrogênio limpo<sup>16</sup>. A *Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe* prevê que, entre 2025 e 2030, o hidrogênio seja integrado ao sistema energético europeu, alcançando 40 GW de capacidade instalada e a produção de 10 milhões de toneladas, avançando para a implantação em larga escala em setores de difícil descarbonização a partir de 2030<sup>17</sup>. Em paralelo, iniciativas como a *Clean Hydrogen Alliance* e a *European Clean Hydrogen Industrial Platform* promovem a cooperação entre governos, empresas e centros de investigação, enquanto o *Innovative Hydrogen Pilot Fund* e o FCH JU financiam projetos-piloto e investigação tecnológica<sup>18</sup>.

em: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy_en). Acesso em: 22 jul. 2025.

<sup>10</sup> UNIÃO EUROPEIA. Comissão Europeia. **Ação da UE para enfrentar a crise energética**. Bruxelas: Comissão Europeia, [s.d.]. Disponível em: [https://commission.europa.eu/topics/energy/eu-action-address-energy-crisis\\_pt](https://commission.europa.eu/topics/energy/eu-action-address-energy-crisis_pt). Acesso em: 12 ago. 2025.

<sup>11</sup> INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Energy mix**. In: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Europe. Disponível em: <https://www.iea.org/regions/europe/energy-mix>. Acesso em: 12 ago. 2025.

<sup>12</sup> JENSEN, L. **EU climate target plan: raising the level of ambition for 2030**. Brussels: European Parliamentary Research Service, Dec. 2020. Disponível em:

[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/659370/EPRS\\_BRI\(2020\)659370\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/659370/EPRS_BRI(2020)659370_EN.pdf). Acesso em: 22 jul. 2025.

<sup>13</sup> Produzido por meio da eletrólise da água com uso de energia renovável, em particular de fontes solar e eólica.

<sup>14</sup> INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Hydrogen**. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/hydrogen>. Acesso em: 12 ago. 2025.

<sup>15</sup> ISLAM, A. et al. Accelerating the green hydrogen revolution: a comprehensive analysis of technological advancements and policy interventions. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 67, p. 458–486, 2024. ISSN 0360-3199. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.04.142>. Acesso em: 21 jul. 2025.

<sup>16</sup> LEGGERINI, C.; BANNÒ, M.; DAL MOLIN, M. Hydrogen innovation: An exploration of its determinants across Europe. *Energy Policy*, [S.I.], v. 204, p. 114675, 2025. ISSN 0301-4215. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142152500182X>. Acesso em: 14 jul. 2025.

<sup>17</sup> H2GreenTECH. **A Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe**. 2020. Disponível em: <https://www.h2greentech.eu/a-hydrogen-strategy-for-a-climate-neutral-europe/>. Acesso em: 12 ago. 2025.

<sup>18</sup> LEGGERINI, C.; BANNÒ, M.; DAL MOLIN, M. Hydrogen innovation: An exploration of its determinants across Europe. *Energy Policy*, [S.I.], v. 204, p. 114675, 2025. ISSN 0301-4215. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142152500182X>. Acesso em: 14 jul. 2025.

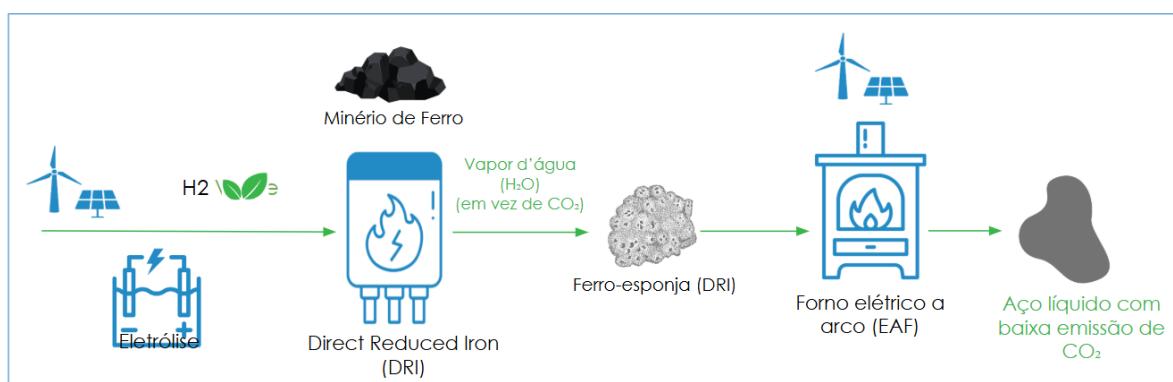
## 2.2 Aço verde e *hard-to-abate* sectors: políticas e instrumentos regulatórios

O setor siderúrgico, em particular, representa um desafio central para a neutralidade climática<sup>19</sup>. A produção de ferro e aço depende fortemente da queima de carvão e coque, processos que resultam em elevadas emissões de gases com efeito de estufa. Paradoxalmente, esses mesmos materiais são essenciais para a transição energética, compondo estruturas de turbinas eólicas, painéis solares e veículos elétricos. Em outras palavras, são insubstituíveis na própria descarbonização da economia<sup>20</sup>.

Nesse cenário, o

hidrogênio verde desponta como uma alternativa promissora para a produção do chamado “aço verde”. Ao substituir o carbono de origem fóssil como agente redutor e fonte de energia nos altos-fornos elétricos, essa tecnologia viabiliza uma redução expressiva das emissões de gases de efeito estufa do setor siderúrgico.

Figura 01 - Produção de aço verde



\*A rota DRI-H<sub>2</sub> e EAF permite produzir aço com até 80% menos emissões de CO<sub>2</sub>.

Fonte: Elaboração Própria

Conforme ilustrado na Figura 01, o hidrogênio é obtido por eletrólise da água alimentada por fontes renováveis e utilizado na redução direta do minério de ferro (*Direct Reduced Iron – DRI*), liberando apenas vapor d'água (H<sub>2</sub>O) em vez de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). O produto resultante, conhecido como ferro-esponja, é então fundido em forno elétrico a arco (*Electric Arc Furnace – EAF*), também abastecido com eletricidade renovável, para a obtenção de aço líquido com baixa emissão de carbono. Essa rota tecnológica, denominada DRI–H<sub>2</sub> + EAF, permite reduzir em até 80% as emissões de CO<sub>2</sub> associadas à produção de aço em comparação aos métodos convencionais baseados em alto-

<sup>19</sup> OECD, 2025. **Hydrogen in steel:** addressing emissions and dealing with overcapacity. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development. Disponível em: [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/03/hydrogen-in-steel\\_f4d15f8d/7e2edc69-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/03/hydrogen-in-steel_f4d15f8d/7e2edc69-en.pdf) Acesso em: 12 jul. 2025.

<sup>20</sup> YU, S.M. et al. Prospect of green hydrogen in Malaysian iron and steel industry: techno-economic assessment and energy modelling using PyPSA-Earth. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 216, 2025, art. 115665. ISSN 1364-0321. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115665> . Acesso em: 8 jul. 2025.

forno e convertedor a oxigênio, representando um caminho promissor para a descarbonização do setor siderúrgico<sup>21</sup>.

Políticas europeias já reconhecem esse potencial e começam a direcionar instrumentos regulatórios e de financiamento. O desenvolvimento de infraestruturas, o apoio à inovação tecnológica e a definição de normas claras para o hidrogênio verde, como as certificações, são passos fundamentais para tornar viável a transição em larga escala<sup>22</sup>.

### 3 TAXONOMIA EUROPEIA E CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE PARA O HIDROGÊNIO VERDE

#### 3.1 RED II / RED III e a certificação de origem renovável

A taxonomia europeia para o hidrogênio verde se baseia em critérios rigorosos de elegibilidade que garantem sua produção sustentável e alinhada às metas climáticas da União Europeia.

Um dos conceitos centrais é o de RFNBO<sup>23</sup> (*Renewable Fuels of Non-Biological Origin*). No caso do hidrogênio, isso significa o hidrogênio verde — produzido por eletrólise da água utilizando apenas eletricidade proveniente de fontes renováveis, sem qualquer uso de biomassa ou combustíveis fósseis. Além disso, para ser classificado como RFNBO, esse hidrogênio precisa ter sua origem e cadeia de produção integralmente rastreáveis, de acordo com normas e critérios ambientais estabelecidos.<sup>24</sup>.

A Diretiva de Energia Renovável (RED II), adotada em 2018 pela União Europeia, estabeleceu metas para a incorporação de combustíveis renováveis de origem não biológica (*Renewable Fuels of Non-Biological Origin – RFNBOs*) no setor de transportes e na indústria. Embora o hidrogênio verde não seja, estritamente, um “combustível” no sentido tradicional — pois é um insumo energético que pode ser usado como matéria-prima, vetor energético ou agente redutor.

Pela RED II, até 2030, pelo menos 1% da energia total consumida no transporte e 42% do hidrogênio utilizado na indústria deveriam ser provenientes de RFNBOs. Em 2023, a RED III ampliou essas metas, fixando 29% de participação de energia renovável no setor de transportes e introduzindo submetas específicas para diferentes combustíveis, com mecanismos de incentivo (*multiplicadores*). Entre eles, multiplicadores de até 4 vezes para a eletricidade renovável utilizada em veículos

<sup>21</sup> AJANOVIC, A.; SAYER, M.; HAAS, R. On the future relevance of green hydrogen in Europe. *Applied Energy*, [S.I.], v. 358, p. 122586, 2024. ISSN 0306-2619. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261923019505>. Acesso em: 14 jul. 2025.

<sup>22</sup> AJANOVIC, A.; SAYER, M.; HAAS, R. On the future relevance of green hydrogen in Europe. *Applied Energy*, [S.I.], v. 358, p. 122586, 2024. ISSN 0306-2619. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261923019505>. Acesso em: 14 jul. 2025.

<sup>23</sup> PANOUTSOU, C. et al. Advanced biofuels to decarbonise European transport by 2030: Markets, challenges, and policies that impact their successful market uptake. *Energy Strategy Reviews*, v. 34, p. 100633, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X21000195>. Acesso em: 18 ago. 2025.

<sup>24</sup> R3 SUSTAINABILITY. How RFNBO Compliant Hydrogen Is Shaping the Future of Renewable Energy. 3 abr. 2025. Disponível em: <https://r3sustainability.com/how-rfnbo-compliant-hydrogen-is-shaping-the-future-of-renewable-energy/>. Acesso em: 22 jul. 2025.

rodoviários e 1,5 para o transporte ferroviário<sup>25</sup>.

A RED III

também consolidou o papel dos RFNBOs em conjunto com os biocombustíveis avançados, estabelecendo que ambos devem representar, no mínimo, 5,5% da matriz energética do setor de transportes, sendo pelo menos 1% especificamente de RFNBOs. Essa abordagem reforça a importância da certificação de origem renovável, garantindo sustentabilidade e rastreabilidade como pilares da transição energética europeia.<sup>26</sup>.

### 3.2 Requisitos de adicionalidade, temporalidade e geolocalização da eletricidade renovável

Para ser considerado RFNBO *compliant*, ou seja, alinhado com os critérios regulatórios da União Europeia, o hidrogênio deve atender a um conjunto rigoroso de requisitos definidos pelo Regulamento Delegado (UE) 2023/1184 e pelas diretivas RED II e RED III.

Primeiramente, a eletricidade utilizada na produção do hidrogênio deve ser 100% renovável. A Comissão Europeia exige que essa energia venha de fontes que não gerem emissões de carbono, garantindo assim a sustentabilidade do combustível. Além disso, deve haver adicionalidade, ou seja, comprovação de que a produção do hidrogênio impulsionou a instalação de nova capacidade renovável, a fonte geradora deve ter sido ativada até 36 meses antes do início da produção do hidrogênio, assegurando que o processo não dependa de energia renovável já existente e em uso<sup>27</sup>.

Outro aspecto importante é a correlação temporal, que determina que a geração da eletricidade renovável e a produção do hidrogênio aconteçam simultaneamente, inicialmente dentro do mesmo mês e, a partir de 2030, na mesma hora. Essa regra evita o uso de energia renovável armazenada ou compensada em horários distintos, promovendo transparência e precisão na certificação do hidrogênio verde<sup>28</sup>.

A correlação geográfica exige que a eletricidade renovável utilizada seja gerada na mesma zona elétrica do eletrolisador ou em áreas interligadas com preços semelhantes, garantindo que o hidrogênio seja produzido em condições próximas à geração renovável real, reforçando sua legitimidade ambiental<sup>29</sup>.

<sup>25</sup> SCHMIDT, J. et al. The EU additionality rule does not guarantee additionality. *Joule*, [S.I.], v. 8, n. 3, p. 553–556, 2024. ISSN 2542-4351. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435124000588>. Acesso em: 15 jul. 2025.

<sup>26</sup> R3 SUSTAINABILITY. How RFNBO Compliant Hydrogen Is Shaping the Future of Renewable Energy. 3 abr. 2025. Disponível em: <https://r3sustainability.com/how-rfnbo-compliant-hydrogen-is-shaping-the-future-of-renewable-energy/>. Acesso em: 22 jul. 2025.

<sup>27</sup> EUROPEAN UNION. Commission Delegated Regulation (EU) 2023/1184 of 10 February 2023 supplementing Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council by establishing a Union methodology setting out detailed rules for the production of renewable liquid and gaseous transport fuels of non-biological origin. *Official Journal of the European Union*, L 157, p. 11–19, 20 jun. 2023. Disponível em: [http://data.europa.eu/eli/reg\\_del/2023/1184/oi](http://data.europa.eu/eli/reg_del/2023/1184/oi). Acesso em: 17 jul. 2025.

<sup>28</sup> EUROPEAN UNION. Commission Delegated Regulation (EU) 2023/1184 of 10 February 2023 supplementing Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council by establishing a Union methodology setting out detailed rules for the production of renewable liquid and gaseous transport fuels of non-biological origin. *Official Journal of the European Union*, L 157, p. 11–19, 20 jun. 2023. Disponível em: [http://data.europa.eu/eli/reg\\_del/2023/1184/oi](http://data.europa.eu/eli/reg_del/2023/1184/oi). Acesso em: 17 jul. 2025.

<sup>29</sup> EUROPEAN UNION. Commission Delegated Regulation (EU) 2023/1184 of 10 February 2023 supplementing Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council by establishing a Union methodology setting out detailed rules for the production of renewable liquid and gaseous transport fuels of non-biological origin. *Official Journal of the*

Por fim, para que o hidrogênio seja certificado como RFNBO, os produtores devem apresentar documentação detalhada comprovando o cumprimento de todas essas regras, incluindo a origem da eletricidade, a operação das instalações e a conformidade com critérios de adicionalidade e correlação temporal e geográfica. Essas exigências valem para hidrogênio produzido tanto dentro quanto fora da União Europeia, alinhando-se ao plano RePowerEU para promover o comércio de hidrogênio verde<sup>30</sup>.

Enfim, o hidrogênio RFNBO é o padrão mais rigoroso de hidrogênio verde, assegurando transparência, rastreabilidade e impacto real na expansão das fontes renováveis, contribuindo decisivamente para a descarbonização dos setores industriais e energéticos.

### 3.3 Mecanismos de verificação e rastreabilidade

A rastreabilidade e verificação do hidrogênio verde classificado como RFNBO não é só assegurada por um conjunto de mecanismos regulatórios, mas também com sistema de certificação reconhecido pela Comissão Europeia. É importante destacar que, independentemente de o hidrogênio ser produzido dentro ou fora da União Europeia, os produtores podem recorrer tanto a sistemas de certificação nacionais dos Estados-Membros quanto a sistemas de certificação internacionais voluntários aprovados pela Comissão Europeia, para comprovar o cumprimento dos critérios técnicos e ambientais exigidos.<sup>31</sup>

Sistemas como o *REDCert-EU* desempenham um papel essencial na certificação da cadeia de produção do hidrogênio. O escopo da certificação pode variar conforme a estrutura organizacional do produtor, podendo abranger instalações individuais (como a de eletrólise) ou sistemas compostos (que integram eletrólise, captura de carbono e produção de combustível no mesmo local). Em ambos os casos, é obrigatório o estabelecimento de um sistema de balanço de massa e o cálculo individual das emissões de gases de efeito estufa (GEE), conforme metodologia padronizada<sup>32</sup>.

Além disso, os pontos de origem das matérias-primas devem ser certificados, individualmente ou por grupo, com inspeções periódicas realizadas por organismos de certificação reconhecidos. A conformidade pode ser comprovada por meio de declarações assinadas e auditorias neutras. Os auditores responsáveis devem ter experiência comprovada em avaliação do ciclo de vida de

---

**European Union**, L 157, p. 11–19, 20 jun. 2023. Disponível em: [http://data.europa.eu/eli/reg\\_del/2023/1184/oi](http://data.europa.eu/eli/reg_del/2023/1184/oi). Acesso em: 17 jul. 2025.

<sup>30</sup> EUROPEAN UNION. Commission Delegated Regulation (EU) 2023/1184 of 10 February 2023 supplementing Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council by establishing a Union methodology setting out detailed rules for the production of renewable liquid and gaseous transport fuels of non-biological origin. **Official Journal of the European Union**, L 157, p. 11–19, 20 jun. 2023. Disponível em: [http://data.europa.eu/eli/reg\\_del/2023/1184/oi](http://data.europa.eu/eli/reg_del/2023/1184/oi). Acesso em: 17 jul. 2025.

<sup>31</sup> EUROPEAN UNION. Commission Delegated Regulation (EU) 2023/1184 of 10 February 2023 supplementing Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council by establishing a Union methodology setting out detailed rules for the production of renewable liquid and gaseous transport fuels of non-biological origin. **Official Journal of the European Union**, L 157, p. 11–19, 20 jun. 2023. Disponível em: [http://data.europa.eu/eli/reg\\_del/2023/1184/oi](http://data.europa.eu/eli/reg_del/2023/1184/oi). Acesso em: 17 jul. 2025.

<sup>32</sup> REDCERT. **REDCert – Certification systems for sustainable biomass, biofuels and bioliquids**. Disponível em: <https://www.redcert.org/en/>. Acesso em: 22 jul. 2025.

combustíveis, auditoria de emissões e conhecimento técnico das regulamentações aplicáveis<sup>33</sup>.

Esses mecanismos asseguram não apenas a credibilidade ambiental do hidrogênio RFNBO, mas também a sua aceitação nos mercados internacionais, ao garantir rastreabilidade completa, padronização de dados e integridade dos processos de certificação.

#### **4 O MARCO REGULATÓRIO BRASILEIRO DO HIDROGÊNIO DE BAIXA EMISSÃO**

##### **4.1 Análise da Lei nº 14.993/2024 (“PL dos Combustíveis do Futuro”)**

Sancionada em 24 de outubro de 2024, a Lei nº 14.993/2024, conhecida como “PL dos Combustíveis do Futuro”, representa um marco na consolidação da transição energética brasileira, ao estabelecer diretrizes para o fomento de combustíveis de baixo carbono e à infraestrutura associada, com especial atenção ao hidrogênio de baixa emissão. Essa lei não só integra, mas também complementa o arcabouço legal construído pela Lei nº 14.948/2023 (Marco Legal do Hidrogênio). Essa ambição normativa reflete o esforço legislativo em alinhar o Brasil aos compromissos globais de descarbonização<sup>34</sup>.

Dentre suas inovações, destaca-se a inclusão do inciso XIX ao art. 1º da Lei nº 9.478/1997, que passa a reconhecer expressamente como objetivo da política energética nacional o estímulo à produção, competitividade e atração de investimentos voltados à indústria do hidrogênio de baixa emissão de carbono e seus derivados. Complementarmente, a Lei reforça o papel da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), ao modificar o inciso VIII do art. 8º, atribuindo-lhe a competência para declarar a utilidade pública de áreas destinadas à infraestrutura de hidrogênio. Ainda, os novos incisos XXXVI a XXXVIII do mesmo artigo ampliam as atribuições da ANP, autorizando-a a regular e fiscalizar diversas etapas da cadeia do hidrogênio, como produção, transporte, comercialização e armazenagem.

Esse marco legislativo também institui três programas nacionais: o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), o Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) e o Programa de Incentivo ao Biometano, estabelecendo metas progressivas de incorporação desses combustíveis à matriz. Nesse contexto, o hidrogênio ganha relevância não apenas como vetor energético, mas também como insumo estratégico em processos industriais e na descarbonização do setor de transportes. A lei reconhece ainda a importância da captura e estocagem geológica de carbono (CCS) como medida complementar à redução de emissões, aspecto particularmente relevante para a viabilização do hidrogênio azul<sup>35</sup>.

Apesar dos avanços normativos, a efetividade da lei depende da superação de obstáculos estruturais, como a

<sup>33</sup> EUROPEAN UNION. Commission Delegated Regulation (EU) 2023/1184 of 10 February 2023 supplementing Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council by establishing a Union methodology setting out detailed rules for the production of renewable liquid and gaseous transport fuels of non-biological origin. **Official Journal of the European Union**, L 157, p. 11–19, 20 jun. 2023. Disponível em: <http://data.europa.eu/eli/reg/dl/2023/1184/oj>. Acesso em: 17 jul. 2025.

<sup>34</sup> VELOSO, I.; IZIDORO, L. **O voo inicial da lei dos 'combustíveis do futuro'**. BrasilAgro, 16 out. 2024. Disponível em: <https://www.brasilagro.com.br/conteudo/o-voo-inicial-da-lei-dos-combustiveis-do-futuro-.html>. Acesso em: 04 ago. 2025.

<sup>35</sup> OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Futuro da energia**: visão do Observatório do Clima para uma transição justa no Brasil. Outubro 2024. [PDF]. Disponível em: [https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2024/10/OC\\_Futuro-da-Energia.pdf](https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2024/10/OC_Futuro-da-Energia.pdf). Acesso em: 04 ago. 2025.

carência de infraestrutura logística e a ausência de oferta regular de combustíveis renováveis, como evidenciado no evento de sanção da lei, em que um voo com SAF foi cancelado por falta de combustível no aeroporto. O episódio ilustra a necessidade de um planejamento regulatório robusto, capaz de conferir segurança jurídica e atrair investimentos em escala compatível com os desafios da transição energética nacional<sup>36</sup>.

#### 4.2 Instrumentos de certificação e governança institucional (ANP)

A consolidação do hidrogênio de baixa emissão no Brasil depende não apenas da criação de marcos legais, mas da implementação de instrumentos eficazes de certificação e da estruturação de uma governança regulatória robusta. Nesse sentido, a Lei nº 14.948/2024 atribui à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) um papel central nesse processo, conferindo-lhe competências amplas, como autorizar a produção, transporte e comercialização de hidrogênio e seus derivados, além de regular sua exploração geológica. A ANP também poderá utilizar mecanismos como *sandbox* regulatório e projetos-piloto, enquanto elabora normativas específicas para o setor. No entanto, a amplitude dessas atribuições contrasta com os desafios enfrentados pela agência, como restrições orçamentárias e déficit de pessoal, o que pode comprometer a efetividade e celeridade na execução do novo marco legal<sup>37</sup>.

No campo da certificação, ainda incipiente no Brasil, iniciativas como a da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), que emite certificados para hidrogênio produzido a partir de fontes renováveis, sinalizam avanços. Entretanto, para viabilizar o comércio internacional de derivados de hidrogênio verde, como amônia e metanol, será necessário desenvolver esquemas de certificação compatíveis com padrões internacionais, promovendo interoperabilidade entre jurisdições. Esse desafio regulatório se soma a barreiras já identificadas na adoção de outras energias renováveis no Brasil, como a solar fotovoltaica, em que custos iniciais, burocracia e ausência de incentivos locais ainda dificultam a difusão tecnológica.<sup>38</sup> Segundo a Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA), a padronização e a certificação são fundamentais para garantir a rastreabilidade e a sustentabilidade das cadeias de valor do hidrogênio, além de reduzir riscos regulatórios e facilitar o investimento<sup>39</sup>. Nesse contexto, a governança institucional do hidrogênio verde ainda está em formação. A ANP integra o Comitê Gestor do Programa Nacional do Hidrogênio (Coges-PNH2), mas a coordenação interinstitucional e a definição clara de papéis entre os diferentes órgãos envolvidos são

<sup>36</sup> VELOSO, I.; IZIDORO, L. **O voo inicial da lei dos 'combustíveis do futuro'**. BrasilAgro, 16 out. 2024. Disponível em: <https://www.brasilagro.com.br/conteudo/o-voo-inicial-da-lei-dos-combustiveis-do-futuro-.html>. Acesso em: 04 ago. 2025.

<sup>37</sup> JOTA. **Brasil dá importante passo para nova era dos combustíveis sustentáveis**. JOTA – opinião e análise, pub. há cerca de 9 meses (nov. 2024). Disponível em: <https://www.jota.info/opiniao-e-analise/artigos/brasil-da-importante-passa-para-nova-era-dos-combustiveis-sustentaveis>. Acesso em: 04 ago. 2025.

<sup>38</sup> PURIFICAÇÃO, Rafael Alexandre do Nascimento; RAMOS, Heidy Rodriguez; KNISS, Cláudia Terezinha. Barreiras e facilitadores para o uso da energia fotovoltaica: uma revisão sistemática da literatura. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 16, n. 2, 2020. Disponível em:

[https://publicacoes.amigodanatureza.org.br/index.php/forum\\_ambiental/article/view/2327](https://publicacoes.amigodanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/2327). Acesso em: 24 set. 2025

<sup>39</sup> NEVES, L. **Padronização e certificação são essenciais para desenvolver mercados de derivados de hidrogênio verde**. pv magazine Brasil, 27 dez. 2024. Disponível em: <https://www.pv-magazine-brasil.com/2024/12/27/padronizacao-e-certificacao-sao-essenciais-para-desenvolver-mercados-de-derivados-de-hidrogenio-verde/>. Acesso em: 04 ago. 2025.

aspectos que exigem aprimoramento<sup>40</sup>. A construção de uma estrutura regulatória eficiente, com esquemas de certificação transparentes e reconhecidos internacionalmente, será determinante para que o Brasil possa integrar mercados globais de hidrogênio e alcançar seus objetivos climáticos. Nesse sentido, a descentralização de políticas ambientais já demonstrou resultados positivos em experiências nacionais, como o Programa Município VerdeAzul, que evidencia o papel dos municípios na governança integrada para sustentabilidade.<sup>41</sup>

## 5 ESTUDO DE CASO: O MODELO REGULATÓRIO ALEMÃO PARA HIDROGÊNIO VERDE

### 5.1 A Estratégia Nacional do Hidrogênio da Alemanha (Nationale Wasserstoffstrategie)

A Alemanha, maior potência industrial da União Europeia e país com maior espaço fiscal no bloco, tem investido de forma estratégica no desenvolvimento de uma economia do hidrogênio, posicionando-se como fornecedora global de tecnologias e grande importadora de hidrogênio verde<sup>42</sup>.

Em julho de 2023, o governo alemão aprovou a atualização da sua Estratégia Nacional do Hidrogênio (Nationale Wasserstoffstrategie – NWS), originalmente lançada em 2020, com o objetivo de adaptá-la aos desenvolvimentos recentes no cenário energético e climático. A atualização reafirma o compromisso da Alemanha com a descarbonização e a segurança energética, ampliando o papel do hidrogênio verde como vetor essencial na transição energética<sup>43</sup>. A nova estratégia estabelece seis metas principais até 2030: (1) Estimular o mercado interno de hidrogênio e seus derivados, promovendo a aceleração de tecnologias e aplicações ao longo da cadeia de valor; (2) Garantir a disponibilidade de hidrogênio, aumentando a meta de capacidade instalada de eletrólise de 5 GW para pelo menos 10 GW, com o restante da demanda suprido por importações. Uma estratégia específica para importações está em desenvolvimento; (3) Desenvolver uma

<sup>40</sup> AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Hidrogênio**. ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Brasília, recentemente atualizada. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/hidrogenio>. Acesso em: 04 ago. 2025.

<sup>41</sup> DUARTE, João Paulo Pereira; RIBAS, Luiz César; HANAI, Frederico Yuri. Descentralização de políticas públicas para uma gestão ambiental integrada: uma análise do programa Município VerdeAzul. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 20, n. 1, 2024. Disponível em: [https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum\\_ambiental/article/view/5286](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/5286) Acesso em: 24 set. 2025.

<sup>42</sup> QUITZOW, R.; NUNEZ, A.; MARIAN, A. Positioning Germany in an international hydrogen economy: A policy review. **Energy Strategy Reviews**, v. 53, 2024, 101361. ISSN 2211-467X. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101361>. Acesso em: 17 jul. 2025.

<sup>43</sup> AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Implementação do Marco Regulatório do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono no Brasil**. Rio de Janeiro: ANP, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/relatorios/arquivos/implementacaomarcoregulatoriohidrogenio.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2025.

infraestrutura eficiente, com reaproveitamento de gasodutos existentes e construção de novas rotas integradas à espinha dorsal europeia, totalizando aproximadamente 4.500 km. O objetivo é conectar toda a produção, importação e centros de armazenamento aos consumidores até 2030; (4) Implementar o uso do hidrogênio em setores estratégicos, como indústria pesada, transporte de longa distância, aviação e geração elétrica flexível. O hidrogênio também contribuirá para a segurança do fornecimento energético; (5) Tornar a Alemanha líder global em tecnologia de hidrogênio, dominando toda a cadeia produtiva, desde a fabricação de eletrolisadores até aplicações como células a combustível; (6) Criar condições regulatórias estáveis e harmonizadas, em níveis nacional, europeu e internacional. Isso inclui normas técnicas, certificações e processos de licenciamento mais eficientes<sup>44</sup>.

Para viabilizar as importações, a Alemanha desenvolveu uma estratégia própria de importação e opera o mecanismo H2Global, que atua como ponte entre produtores internacionais de hidrogênio de baixa emissão e compradores europeus. Por meio da fundação H2Global e sua subsidiária HINT.CO, o país realiza leilões internacionais para compra de derivados como amônia, metanol e SAF (combustível sustentável de aviação), revendendo-os na Europa com subsídios cobrindo a diferença entre os preços de compra e venda<sup>45</sup>. A primeira rodada, com orçamento de € 900 milhões, resultou em contratos de importação de 259 mil toneladas de amônia verde entre 2027 e 2033, o que representa mais de 10% da produção anual de amônia do país. Os custos de produção giram em torno de € 4,50 por kg de hidrogênio verde<sup>46</sup>.

Esses contratos de longo prazo fornecem segurança de investimento a exportadores e previsibilidade de acesso a derivados verdes para os compradores europeus, estimulando o crescimento global da indústria do hidrogênio.

## 5.2 Certificação, contratos de fornecimento e instrumentos de estímulo à demanda

No contexto alemão, a certificação do hidrogênio verde é tratada como elemento central para garantir confiabilidade e acesso a mercados internacionais. O governo federal exige que as importações sejam acompanhadas por certificados reconhecidos internacionalmente, que comprovem o cumprimento de limites máximos de emissões (como o teto de 3,4 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg H<sub>2</sub> na UE) e critérios de sustentabilidade<sup>47</sup>.

Para cumprir essa meta, Organizações como a TÜV SÜD, com atuação internacional, oferecem

<sup>44</sup> AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Implementação do Marco Regulatório do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono no Brasil**. Rio de Janeiro: ANP, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/relatorios/arquivos/implementacaomarcoregulatoriohidrogenio.pdf> . Acesso em: 17 jul. 2025.

<sup>45</sup> AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Implementação do Marco Regulatório do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono no Brasil**. Rio de Janeiro: ANP, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/relatorios/arquivos/implementacaomarcoregulatoriohidrogenio.pdf> . Acesso em: 17 jul. 2025.

<sup>46</sup> AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Implementação do Marco Regulatório do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono no Brasil**. Rio de Janeiro: ANP, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/relatorios/arquivos/implementacaomarcoregulatoriohidrogenio.pdf> . Acesso em: 17 jul. 2025.

<sup>47</sup> ALEMANHA. **A Estratégia Nacional do Hidrogênio**. Die Bundesregierung, 2025. Disponível em: <https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Wasserstoff/Dossiers/wasserstoffstrategie.html> . Acesso em: 17 jul. 2025.

certificação dupla, tanto com seu próprio selo (SCS70) quanto com o padrão europeu CertifHy, o que permite aos produtores obter duas certificações em uma única auditoria, aumentando sua competitividade<sup>48</sup>.

No campo dos contratos de fornecimento, a Alemanha implementa mecanismos como o H2Global, que atua como comprador intermediário, garantindo contratos de longo prazo com preços estáveis para importações, reduzindo o risco para investidores estrangeiros<sup>49</sup>. Já os instrumentos de estímulo à demanda são variados, incluindo os Acordos de Proteção Climática (KSV), IPCEI Hidrogênio, Financiamento Federal para a Indústria e Proteção Climática, além da aplicação das cotas mínimas de renováveis previstas no RED III<sup>50</sup>. Esses três tipos de mecanismos - certificação, contratos de fornecimento e instrumentos de estímulo à demanda - asseguram um mercado interno previsível e em expansão, promovendo a demanda e fortalecendo toda a cadeia de valor do hidrogênio de baixo carbono.

### 5.3 Cooperação internacional com países produtores

A cooperação internacional é um pilar fundamental da estratégia alemã para o desenvolvimento da economia do hidrogênio verde, reconhecendo que a maior parte da demanda doméstica e europeia dependerá de importações<sup>51</sup>.

A Alemanha mantém uma rede consolidada de parcerias bilaterais de energia, especialmente com países do Oriente Médio, Norte da África, África Subsaariana e regiões da Ásia Central, focadas na transição energética e no desenvolvimento conjunto do setor de hidrogênio, diferenciando-se de outras potências cujas relações energéticas ainda são muito ligadas a combustíveis fósseis e energia nuclear. Para fortalecer essa cooperação, o governo alemão criou escritórios de hidrogênio (H2 Diplo) em países estratégicos como Arábia Saudita, Angola, Nigéria, Cazaquistão e Ucrânia, ampliando o diálogo político e econômico sobre o hidrogênio<sup>52</sup>.

No âmbito multilateral, a Alemanha lidera iniciativas como o *G7 Hydrogen Action Pact* e é fundadora do *Green Hydrogen Catalogue* da ONU, promovendo compromissos globais para a sustentabilidade e expansão do mercado de hidrogênio verde. Durante sua presidência do Conselho Europeu, a Alemanha impulsionou projetos importantes (IPCEI) para tecnologias e sistemas de hidrogênio na UE, além de acordos regionais, como a Declaração de Esjberg com Bélgica, Dinamarca

<sup>48</sup> GALE, F. et al. Renewable hydrogen standards, certifications, and labels: A state-of-the-art review from a sustainability systems governance perspective. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 59, p. 654-667, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.02.038>. Acesso em: 17 jul. 2025.

<sup>49</sup> ALEMANHA. **A Estratégia Nacional do Hidrogênio**. Die Bundesregierung, 2025. Disponível em: <https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Wasserstoff/Dossiers/wasserstoffstrategie.html>. Acesso em: 17 jul. 2025.

<sup>50</sup> ALEMANHA. **A Estratégia Nacional do Hidrogênio**. Die Bundesregierung, 2025. Disponível em: <https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Wasserstoff/Dossiers/wasserstoffstrategie.html>. Acesso em: 17 jul. 2025.

<sup>51</sup> QUITZOW, R. et al. Positioning Germany in an international hydrogen economy: A policy review. *Energy Strategy Reviews*, v. 53, 2024, 101361. ISSN 2211-467X. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101361>. Acesso em: 17 jul. 2025.

<sup>52</sup> QUITZOW, R. et al. Positioning Germany in an international hydrogen economy: A policy review. *Energy Strategy Reviews*, v. 53, 2024, 101361. ISSN 2211-467X. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101361>. Acesso em: 17 jul. 2025.

e Holanda para desenvolvimento conjunto de eólica offshore e produção de hidrogênio no Mar do Norte<sup>53</sup>.

A Alemanha também tem forte atuação em pesquisa e inovação, fomentando colaborações internacionais com países desenvolvidos e emergentes, incluindo a Austrália, Ucrânia, Namíbia, Coreia do Sul, Japão e Canadá. Destaca-se o apoio financeiro para projetos de P&D em países de baixa e média renda, como o compromisso de €40 milhões com Namíbia, e iniciativas internas para atrair pesquisadores estrangeiros<sup>54</sup>.

Além disso, a Alemanha promove a expansão das cadeias globais de suprimento por meio de investimentos relevantes (cerca de €11 bilhões na UE via IPCEI) e programas específicos como o *International Hydrogen Ramp Up* (H2Upp) para apoiar pequenos projetos em países emergentes. O programa de destaque é o H2Global, que funciona por meio de leilões para garantir contratos de longo prazo de compra de hidrogênio e derivados, assegurando preços e reduzindo riscos para produtores internacionais<sup>55</sup>.

É interessante destacar que essa abordagem orientada à importação e competitividade contrasta com estratégias de países como Japão, que investem diretamente em tecnologias específicas de transporte e armazenamento de hidrogênio.

## 6 COMPATIBILIDADE REGULATÓRIA BRASIL-EU: OBSTÁCULOS E OPORTUNIDADES

A transição energética global estabelece uma nova arena de competição e cooperação internacional, na qual a compatibilidade regulatória se torna um fator determinante para o acesso a mercados e a atração de investimentos. A análise comparativa entre o arcabouço normativo da União Europeia (UE) — que atua como um *standard-setter* global para o hidrogênio verde (H<sub>2</sub>V) — e o quadro regulatório emergente no Brasil revela um panorama de desafios significativos e oportunidades estratégicas.

### 6.1 Diagnóstico de barreiras técnicas e regulatórias brasileiras

A efetiva inserção do Brasil no mercado global de H<sub>2</sub>V, especialmente no europeu, é condicionada pela superação de barreiras que transcendem a mera capacidade de produção. O diagnóstico aponta para um desalinhamento fundamental entre a estrutura regulatória brasileira e os critérios de elegibilidade europeus, notadamente os que definem um combustível renovável de origem não biológica (RFNBO).

A principal barreira regulatória reside na ausência de um sistema nacional de certificação de hidrogênio que seja interoperável com os padrões da UE. Enquanto o bloco europeu, por meio das

<sup>53</sup> QUITZOW, R. et al. Positioning Germany in an international hydrogen economy: A policy review. *Energy Strategy Reviews*, v. 53, 2024, 101361. ISSN 2211-467X. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101361>. Acesso em: 17 jul. 2025.

<sup>54</sup> QUITZOW, R. et al. Positioning Germany in an international hydrogen economy: A policy review. *Energy Strategy Reviews*, v. 53, 2024, 101361. ISSN 2211-467X. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101361>. Acesso em: 17 jul. 2025.

<sup>55</sup> QUITZOW, R. et al. Positioning Germany in an international hydrogen economy: A policy review. *Energy Strategy Reviews*, v. 53, 2024, 101361. ISSN 2211-467X. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101361>. Acesso em: 17 jul. 2025.

diretivas RED II e RED III e do Regulamento Delegado (UE) 2023/1184, estabeleceu um conjunto de regras mandatórias, o Brasil ainda opera com um marco legal incipiente (Leis nº 14.993/2024 e nº 14.948/2024) que delega a construção desses mecanismos à ANP. A inexistência de uma metodologia nacional para o balanço de massa e para o cálculo das emissões de gases de efeito estufa (GEE) em toda a cadeia de valor impede a verificação da conformidade do produto brasileiro.

Essa lacuna se desdobra em desalinhamentos técnicos específicos com os critérios europeus:

1. **Adicionalidade:** A regulamentação da UE exige que a produção de H<sub>2</sub>V estimule a adição de nova capacidade de geração de energia renovável, instalada no máximo 36 meses antes do início da operação do eletrolisador. O marco brasileiro, embora incentive energias renováveis, não estabelece uma vinculação direta e comprovável entre um projeto de hidrogênio e a adição de nova capacidade elétrica, o que constitui um obstáculo direto à certificação como RFNBO.
2. **Correlação Temporal:** O critério de temporalidade, que determina a simultaneidade entre a geração da eletricidade renovável e o consumo pelo eletrolisador (mensal até 2029, horária a partir de 2030), demanda sistemas de rastreamento e gestão de energia de alta granularidade. A infraestrutura de medição e a regulação do Sistema Interligado Nacional (SIN) brasileiro não foram concebidas para esse nível de rastreabilidade contratual, representando uma barreira técnica e de mercado significativa.
3. **Correlação Geográfica:** A exigência de que a produção ocorra na mesma "zona elétrica" da geração renovável (ou em zonas interligadas com preços de eletricidade correlacionados) apresenta desafios de transposição para a realidade do sistema elétrico brasileiro, cujos submercados são amplos e diversificados. A definição de zonas de lances compatíveis com o modelo europeu ainda é objeto de debate e não se encontra instrumentalizada.

Adicionalmente, a governança institucional, embora delineada com a centralidade da ANP, enfrenta desafios de capacidade técnica e orçamentária para desenvolver, implementar e fiscalizar um sistema regulatório tão complexo em tempo hábil para capturar a janela de oportunidade do mercado.

## 6.2 Riscos de exclusão de mercados versus incentivo à convergência regulatória

A divergência entre os sistemas regulatórios brasileiro e europeu engendra uma dualidade de forças: o risco iminente de exclusão de mercados estratégicos e, paradoxalmente, um poderoso incentivo à convergência e à modernização.

O principal risco decorre do chamado "Brussels Effect"<sup>56</sup>: produtores de H<sub>2</sub>V e seus derivados, como amônia e metanol verdes, que não conseguirem comprovar a conformidade com os critérios

<sup>56</sup> O termo *Brussels Effect* descreve o fenômeno pelo qual parceiros não pertencentes à União Europeia acabam por adaptar-se às suas regulações, não apenas para manter acesso a um mercado de grande escala, mas também porque isso significa alinhar-se a alguns dos padrões e normas mais rigorosos do mundo, que tendem a uniformizar-se em mercados globais. Ver: Bradford, A. *The Brussels Effect: How the European Union Rules the World*. Oxford University Press, 2020.

RFNBO, não poderão ser contabilizados para as metas mandatórias dos setores de transporte e indústria da UE. Consequentemente, esses produtos seriam relegados a mercados com menor valor agregado ou sem demanda específica por sustentabilidade certificada, comprometendo a viabilidade econômica dos projetos de exportação e reduzindo o retorno sobre os investimentos. Mecanismos como o H2Global alemão, que operam com base em critérios de sustentabilidade estritos alinhados aos da UE, se tornariam inacessíveis para produtores brasileiros não certificados. Esse cenário representa um risco de *stranded assets* (ativos ociosos) para os investimentos já anunciados no Brasil.

Por outro lado, a rigidez do arcabouço europeu funciona como um "indutor exógeno" para a convergência regulatória. A necessidade de alinhar-se aos padrões internacionais para competir pressiona o Brasil a: (i) Acelerar o desenvolvimento de seu marco regulatório: A demanda por certificação força o Estado e os agentes de mercado a desenvolverem rapidamente as normas, os sistemas de rastreabilidade e a capacidade institucional necessários; (ii) Atrair capital qualificado: A adesão a padrões internacionais de sustentabilidade e transparência aumenta a segurança jurídica e torna os projetos brasileiros mais atrativos para investidores internacionais e agências de fomento, que frequentemente condicionam o financiamento ao cumprimento de critérios ESG (Environmental, Social and Governance) rigorosos; e (iii) Criar um "padrão-ouro" exportável: Ao desenvolver um sistema de certificação compatível com o modelo mais exigente do mundo (o europeu), o Brasil se posiciona para acessar não apenas a UE, mas também outros mercados desenvolvidos, como Japão<sup>57</sup> e Coreia do Sul<sup>58</sup>, que tendem a adotar padrões similares. A convergência, portanto, não é apenas uma obrigação, mas uma estratégia de posicionamento competitivo global.

### 6.3 Oportunidades para a indústria de aço verde no Brasil como vetor de agregação de valor

A convergência regulatória para o H<sub>2</sub>V transcende o setor energético, habilitando oportunidades transformadoras para a indústria nacional, com destaque para a siderurgia. A produção de "aço verde" representa o mais claro vetor de agregação de valor na cadeia do hidrogênio, permitindo ao Brasil alavancar suas vantagens comparativas singulares.

O país detém uma posição privilegiada ao concentrar, em seu território, dois insumos essenciais para a produção de aço verde pela rota tecnológica de redução direta com hidrogênio (DRI-H<sub>2</sub>) seguida de forno elétrico a arco (EAF): minério de ferro de alta qualidade e um dos maiores potenciais de geração de energia renovável de baixo custo do mundo.

A oportunidade consiste em internalizar etapas da cadeia de valor, migrando da exportação de commodities de baixo valor agregado (minério de ferro) para a produção e exportação de um produto industrial de altíssimo valor (aço verde). Essa transição representa um movimento estratégico de reindustrialização com base em tecnologia de ponta e sustentabilidade, com múltiplos benefícios:

<sup>57</sup> UNIÃO EUROPEIA. EU-Japan Memorandum of Cooperation on Hydrogen. Directorate-General for Energy, 2 dez. 2022. Disponível em: [energy.ec.europa.eu/publications/eu-japan-memorandum-cooperation-hydrogen\\_en](https://energy.ec.europa.eu/publications/eu-japan-memorandum-cooperation-hydrogen_en). Acesso em: 18 ago. 2025.

<sup>58</sup> KUSTOVA, I. et al. **From partnership to leadership**: energising EU–Korea cooperation on the road to net zero. CEPS In-Depth Analysis. Brussels: Centre for European Policy Studies (CEPS), May 2025. Disponível em: [cdn.ceps.eu/wp-content/uploads/2025/05/CEPS-Korea-report-2025-formatted.pdf](https://cdn.ceps.eu/wp-content/uploads/2025/05/CEPS-Korea-report-2025-formatted.pdf). Acesso em: 18 ago. 2025.

- **Econômicos:** Geração de empregos de alta qualificação, aumento da arrecadação, atração de investimentos em plantas industriais modernas e fortalecimento da balança comercial por meio de um produto com prêmio de sustentabilidade.
- **Estratégicos:** Posiciona o Brasil não apenas como um fornecedor de energia limpa ( $H_2V$ ), mas como um parceiro industrial indispensável na descarbonização de setores *hard-to-abate* em escala global.
- **Ambientais:** Contribui significativamente para as metas climáticas do país e do planeta, ao descarbonizar um dos setores mais intensivos em emissões.

Contudo, a materialização dessa oportunidade é diretamente dependente da superação das barreiras discutidas na seção 6.1. O aço só poderá ser comercializado como "verde" no mercado europeu se o hidrogênio utilizado em sua produção for certificado como RFNBO. A ausência de um sistema de certificação robusto e alinhado aos critérios europeus anularia a principal vantagem competitiva do produto brasileiro, tornando-o indistinguível do aço produzido por rotas convencionais aos olhos do comprador internacional. Assim, a construção de um arcabouço regulatório para o hidrogênio não é um fim em si mesmo, mas uma condição *sine qua non* para destravar o potencial de uma nova industrialização verde no Brasil.

## 7 CONCLUSÃO

A análise dos marcos regulatórios da União Europeia e do Brasil, complementada pelo estudo do modelo alemão, permite inferir que a inserção estratégica brasileira na nascente economia global do hidrogênio verde ( $H_2V$ ) e de seus derivados, como o aço verde, é indissociável da superação de um significativo hiato regulatório. O estudo demonstrou que, para além do vasto potencial em recursos renováveis e minerais, a competitividade do país no mercado internacional será determinada por sua capacidade de construir um arcabouço normativo alinhado aos rigorosos critérios de sustentabilidade definidos por mercados importadores, notadamente o europeu. A tese central, de que a regulação da UE atua como um indutor exógeno para a modernização das políticas domésticas, foi corroborada pela identificação de barreiras críticas, como a ausência de um sistema de certificação que assegure a conformidade com os requisitos de adicionalidade, temporalidade e rastreabilidade.

Nesse contexto, a formulação de uma estratégia de convergência regulatória emerge não como uma opção, mas como uma condição para materializar as oportunidades de exportação. Tal estratégia demanda, em primeiro lugar, a construção de instrumentos de certificação com credibilidade internacional. Isso implica o desenvolvimento de um sistema nacional robusto, com metodologias transparentes para o cálculo do balanço de massa e da pegada de carbono, que seja interoperável e reconhecido por esquemas voluntários ou oficiais aceitos pela Comissão Europeia. A credibilidade desses certificados é o pilar que garantirá o acesso do  $H_2V$  e do aço verde brasileiros ao mercado premium europeu.

Em segundo lugar, a análise aponta para a necessidade de uma integração coesa entre a regulação energética, industrial e ambiental. Uma abordagem fragmentada, na qual cada política opera de forma isolada, revela-se inadequada para gerir a complexidade da cadeia de valor do  $H_2V$ . A governança do setor deve, portanto, articular os

objetivos de transição energética com as metas de reindustrialização sustentável e os compromissos ambientais, assegurando que os incentivos e as normas se reforcem mutuamente, criando um ambiente de negócios previsível e seguro para investimentos de longo prazo.

Adicionalmente, o avanço brasileiro pode ser acelerado pela cooperação bilateral, com destaque para a parceria estratégica com a Alemanha, e pela participação ativa em fóruns multilaterais. O engajamento com a Alemanha, que já possui um mecanismo de importação como o H2Global, pode facilitar o alinhamento técnico, acelerar a curva de aprendizado regulatório e criar canais comerciais concretos. Em paralelo, a presença assertiva do Brasil em plataformas globais de discussão sobre padrões para o hidrogênio é fundamental para defender seus interesses e contribuir para a formatação de regras que reconheçam as especificidades de sistemas energéticos de base predominantemente renovável.

Infere-se, portanto, que a transição de um potencial exportador para um fornecedor consolidado de H<sub>2</sub>V e produtos de alto valor agregado exige uma visão estratégica regulatória clara. Essa visão transcende a simples edição de leis e se consubstancia no papel do Estado como coordenador institucional e indutor da industrialização sustentável. Ao Estado compete não apenas regular, mas orquestrar a interação entre agências, setor privado e parceiros internacionais, fomentando o ecossistema de inovação, infraestrutura e segurança jurídica necessário. A efetivação do Brasil como um ator central na economia global do hidrogênio não dependerá apenas de seus recursos naturais, mas, crucialmente, da arquitetura de uma estratégia regulatória lúcida, integrada e alinhada às exigências da nova geopolítica da energia.

## 8 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Implementação do Marco Regulatório do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono no Brasil**. Rio de Janeiro: ANP, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/relatorios/arquivos/implementacaomarcoregulatoriohidrogenio.pdf> . Acesso em: 17 jul. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Hidrogênio**, Brasília, recentemente atualizada. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/hidrogenio> . Acesso em: 04 ago. 2025.

AJANOVIC, A.; SAYER, M.; HAAS, R. On the future relevance of green hydrogen in Europe. **Applied Energy**, [S.I.], v. 358, p. 122586, 2024. ISSN 0306-2619. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261923019505> . Acesso em: 14 jul. 2025.

ALEMANHA. **A Estratégia Nacional do Hidrogênio**. Die Bundesregierung, 2025. Disponível em: <https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Wasserstoff/Dossiers/wasserstoffstrategie.html> . Acesso em: 17 jul. 2025.

BRADFORD, A. **The Brussels Effect: How the European Union Rules the World**. Oxford University Press, 2020.

DUARTE, João Paulo Pereira; RIBAS, Luiz César; HANAI, Frederico Yuri. Descentralização de políticas públicas para uma gestão ambiental integrada: uma análise do programa Município VerdeAzul. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 20, n. 1, 2024. Disponível em: [https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum\\_ambiental/article/view/5286](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/5286) Acesso em: 24 set. 2025.

ENERGY TRANSITIONS COMMISSION (ETC). **Mission Possible**: Reaching net-zero carbon emissions from harder-to-abate sectors by mid-century. London, nov. 2018. 172 p. Disponível em: [https://www.energy-transitions.org/wp-content/uploads/2020/08/ETC\\_MissionPossible\\_FullReport.pdf](https://www.energy-transitions.org/wp-content/uploads/2020/08/ETC_MissionPossible_FullReport.pdf). Acesso em: 12 ago. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. **Going climate-neutral by 2050**: a strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate-neutral EU economy. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019. Disponível em: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy_en). Acesso em: 22 jul. 2025.

EUROPEAN UNION. Commission Delegated Regulation (EU) 2023/1184 of 10 February 2023 supplementing Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council by establishing a Union methodology setting out detailed rules for the production of renewable liquid and gaseous transport fuels of non-biological origin. **Official Journal of the European Union**, L 157, p. 11–19, 20 jun. 2023. Disponível em: <http://data.europa.eu/eli/reg/dl/2023/1184/oi>. Acesso em: 17 jul. 2025.

EUROPEAN UNION. **EU-Japan Memorandum of Cooperation on Hydrogen**. Directorate-General for Energy, 2 dez. 2022. Disponível em: [energy.ec.europa.eu/publications/eu-japan-memorandum-cooperation-hydrogen\\_en](energy.ec.europa.eu/publications/eu-japan-memorandum-cooperation-hydrogen_en). Acesso em: 18 ago. 2025.

GALE, F. et al. Renewable hydrogen standards, certifications, and labels: A state-of-the-art review from a sustainability systems governance perspective. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 59, p. 654-667, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.02.038>. Acesso em: 17 jul. 2025.

GROPPY, D. et al. Energy modelling challenges for the full decarbonisation of hard-to-abate sectors. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 209, p. 115103, 2025. ISSN 1364-0321. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115103>. Acesso em: 12 ago. 2025.

H2GreenTECH. **A Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe**. 2020. Disponível em: <https://www.h2greentech.eu/a-hydrogen-strategy-for-a-climate-neutral-europe/>. Acesso em: 12 ago. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Energy mix**. In: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Europe. Disponível em: <https://www.iea.org/regions/europe/energy-mix>. Acesso em: 12 ago. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Hydrogen**. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/hydrogen>. Acesso em: 12 ago. 2025.

ISLAM, A. et al. Accelerating the green hydrogen revolution: a comprehensive analysis of technological advancements and policy interventions. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 67, p. 458–486, 2024. ISSN 0360-3199. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.04.142>. Acesso em: 21 jul. 2025.

JENSEN, L. **EU climate target plan: raising the level of ambition for 2030**. Brussels: European Parliamentary Research Service, Dec. 2020. Disponível em: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/659370/EPRS\\_BRI\(2020\)659370\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/659370/EPRS_BRI(2020)659370_EN.pdf). Acesso em: 22 jul. 2025.

JOTA. **Brasil dá importante passo para nova era dos combustíveis sustentáveis**. JOTA – opinião e análise, pub. há cerca de 9 meses (nov. 2024). Disponível em: <https://www.jota.info/opiniao-e-analise/artigos/brasil-da-importante-passo-para-nova-era-dos-combustiveis-sustentaveis>. Acesso em: 04 ago. 2025.

KUSTOVA, I. et al. **From partnership to leadership**: energising EU–Korea cooperation on the road to net zero. CEPS In-Depth Analysis. Brussels: Centre for European Policy Studies (CEPS), May 2025. Disponível em: <cdn.ceps.eu/wp-content/uploads/2025/05/CEPS-Korea-report-2025-formatted.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2025.

LEGGERINI, C. et al. Hydrogen innovation: An exploration of its determinants across Europe. **Energy Policy**, [S.I.], v. 204, p. 114675, 2025. ISSN 0301-4215. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142152500182X>. Acesso em: 14 jul. 2025.

MELO, Messias Silva de; LOPES NETO, Guilherme Alexandre; BERTHO JUNIOR, Rui; BRANCO, Hermes Manoel Galvão. Localização de faltas em sistemas HVDC utilizando Perceptron Multicamadas e Transformada Wavelet Packet: uma abordagem sustentável para a integração de energias renováveis. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 21, n. 1, 2025. Disponível em: [https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum\\_ambiental/article/view/5589](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/5589). Acesso em: 24 set. 2025.

NEVES, L. **Padronização e certificação são essenciais para desenvolver mercados de derivados de hidrogênio verde.** pv magazine Brasil, 27 dez. 2024. Disponível em: <https://www.pv-magazine-brasil.com/2024/12/27/padronizacao-e-certificacao-sao-essenciais-para-desenvolver-mercados-de-derivados-de-hidrogenio-verde/>. Acesso em: 04 ago. 2025.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Futuro da energia:** visão do Observatório do Clima para uma transição justa no Brasil. Outubro 2024. [PDF]. Disponível em: [https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2024/10/OC\\_Futuro-da-Energia.pdf](https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2024/10/OC_Futuro-da-Energia.pdf). Acesso em: 04 ago. 2025.

OECD, 2025. **Hydrogen in steel:** addressing emissions and dealing with overcapacity. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development. Disponível em:  
[https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/03/hydrogen-in-steel\\_f4d15f8d/7e2edc69-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/03/hydrogen-in-steel_f4d15f8d/7e2edc69-en.pdf)  
Acesso em: 12 jul. 2025.

PANOUTSOU, C. et al. Advanced biofuels to decarbonise European transport by 2030: Markets, challenges, and policies that impact their successful market uptake. **Energy Strategy Reviews**, v. 34, p. 100633, 2021. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X21000195>. Acesso em: 18 ago. 2025.

PURIFICAÇÃO, Rafael Alexandre do Nascimento; RAMOS, Heidy Rodriguez; KNISS, Cláudia Terezinha. Barreiras e facilitadores para o uso da energia fotovoltaica: uma revisão sistemática da literatura. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 16, n. 2, 2020. Disponível em:  
[https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum\\_ambiental/article/view/2327](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/2327). Acesso em: 24 set. 2025

QUITZOW, R. et al. Positioning Germany in an international hydrogen economy: A policy review. **Energy Strategy Reviews**, v. 53, 2024, 101361. ISSN 2211-467X. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101361>. Acesso em: 17 jul. 2025.

QUITZOW, R. et al. **Building partnerships for an international hydrogen economy:** Entry-points for European policy action. Friedrich-Ebert-Stiftung; RIFS Potsdam, jan. 2023. Disponível em: <https://library.fes.de/pdf-files/a-p-b/19921-20230215.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2025.

REDCERT. **REDCert – Certification systems for sustainable biomass, biofuels and bioliquids.** Disponível em:  
<https://www.redcert.org/en/>. Acesso em: 22 jul. 2025.

R3 SUSTAINABILITY. **How RFNBO Compliant Hydrogen Is Shaping the Future of Renewable Energy.** 3 abr. 2025. Disponível em: <https://r3sustainability.com/how-rfnbo-compliant-hydrogen-is-shaping-the-future-of-renewable-energy/>. Acesso em: 22 jul. 2025.

SCHMIDT, J. et al. The EU additionality rule does not guarantee additionality. **Joule**, [S.I.], v. 8, n. 3, p. 553–556, 2024. ISSN 2542-4351. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435124000588>. Acesso em: 15 jul. 2025.

VELOSO, I.; IZIDORO, L. **O voo inicial da lei dos 'combustíveis do futuro'.** BrasilAgro, 16 out. 2024. Disponível em:  
<https://www.brasilagro.com.br/conteudo/o-voo-inicial-da-lei-dos-combustiveis-do-futuro-.html>. Acesso em: 04 ago. 2025.

YU, S.M. et al. Prospect of green hydrogen in Malaysian iron and steel industry: techno-economic assessment and energy modelling using PyPSA-Earth. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 216, 2025, art. 115665. ISSN 1364-0321. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115665>. Acesso em: 8 jul. 2025.



**Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**

*Electronic Journal Environmental Forum of Alta Paulista*

ISSN 2966-2931 Suporte Online / Online Support - ISSN 1980-0827 Suporte CD-ROM / CD-ROM Support

Edição em Português e Inglês / Edition in Portuguese and English - v. 21, n. 2, 2025

---



## DECLARAÇÕES

---

### CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

- **Concepção e Design do Estudo:** Isabel Veloso e Léa Guillaumier
- **Curadoria de Dados:** Isabel Veloso e Léa Guillaumier
- **Análise Formal:** Isabel Veloso e Léa Guillaumier
- **Aquisição de Financiamento:** Não se aplica
- **Investigação:** Isabel Veloso e Léa Guillaumier
- **Metodologia:** Isabel Veloso
- **Redação - Rascunho Inicial:** Isabel Veloso e Léa Guillaumier
- **Redação - Revisão Crítica:** Isabel Veloso e Léa Guillaumier
- **Revisão e Edição Final:** Isabel Veloso e Léa Guillaumier
- **Supervisão:** Isabel Veloso

---

### DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, Isabel Veloso e Léa Guillaumier, declaro(amos) que o manuscrito intitulado "**Entre Oportunidade e Adequação Regulatória: Desafios do Hidrogênio Verde Brasileiro frente às Exigências da União Europeia**":

1. **Vínculos Financeiros:** Não possuímos vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou interpretação do trabalho.
  2. **Relações Profissionais:** Não possuímos relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados.
  3. **Conflitos Pessoais:** Não possuímos conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito.
-