



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – UFC**  
**FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA E**  
**CONTABILIDADE – FEAAC**  
**PROGRAMA DE ECONOMIA PROFISSIONAL – PEP**

**FÁBIO HIPÓLITO DE ARAÚJO**

**MODELO IDEAL DE TRIBUTAÇÃO NA CADEIA DE PRODUTIVA DO**  
**HIDROGÊNIO VERDE NO ESTADO DO CEARÁ: ROYALTIES COMO**  
**ALTERNATIVA**

**FORTALEZA**

**2024**

FÁBIO HIPÓLITO DE ARAÚJO

MODELO IDEAL DE TRIBUTAÇÃO NA CADEIA DE PRODUTIVA DO  
HIDROGÊNIO VERDE NO ESTADO DO CEARÁ: ROYALTIES COMO  
ALTERNATIVA

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Economia Profissional – PEP, da Universidade Federal do Ceará - UFC, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Economia. Área de Concentração: Economia do Setor Público.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Antônio de Castro Pereira

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

A689m Araújo, Fábio Hipólito de.

Modelo ideal de tributação na cadeia de produtiva do hidrogênio verde no Estado do Ceará: royalties como alternativa / Fábio Hipólito de Araújo. – 2024.

51 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Mestrado Profissional em Economia do Setor Público, Fortaleza, 2024.

Orientação: Prof. Dr. Ricardo Antônio de Castro Pereira.

1. Hidrogênio verde. 2. Tributação. 3. Royalties. I. Título.

CDD 330

---

FÁBIO HIPÓLITO DE ARAÚJO

MODELO IDEAL DE TRIBUTAÇÃO NA CADEIA DE PRODUTIVA DO  
HIDROGÊNIO VERDE NO ESTADO DO CEARÁ: ROYALTIES COMO  
ALTERNATIVA

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Economia Profissional – PEP, da Universidade Federal do Ceará - UFC, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Economia. Área de Concentração: Economia do Setor Público.

Aprovada em: **29 de julho de 2024.**

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Ricardo Antônio de Castro Pereira (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Marcelo de Castro Callado  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Arley Rodrigues Bezerra  
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelo dom da vida e pela oportunidade de mais uma etapa concluída na minha vida.

Agradeço, também, a minha família. A meus pais pelo exemplo a seguir como pessoa e profissional e a minha esposa pelo seu companheirismo.

Agradeço ao professor Ricardo pela orientação, por sua disponibilidade e explicações, por sua ajuda e por me guiar para a conclusão desse trabalho. Por fim agradeço aos membros da banca pela participação.

## RESUMO

O Hidrogênio Verde tem sido apresentado como um vetor energético e uma fonte de energia limpa e renovável capaz de enfrentar os desafios deste setor, tornando-se uma alternativa viável aos combustíveis fósseis. O presente trabalho tem o objetivo de apresentar o desenvolvimento do hidrogênio verde no Brasil, buscando analisar o enfoque regulatório e de tributação dessa matriz energética amplamente visualizada como fator de desenvolvimento do Estado do Ceará. O trabalho buscará identificar e discutir as iniciativas no Brasil para o desenvolvimento da energia através do hidrogênio verde, numa perspectiva de “economia verde”, produção de baixo carbono e desenvolvimento sustentável, mas levando-se em conta a necessidade de financiamento do setor público através da tributação e/ou *royalties*. Ressalta-se que o imposto cobrado nas operações de fornecimento de energia elétrica, sobretudo o ICMS, imposto de competência estadual, é fonte vital de angariação de recursos para os estados federados, que, no entanto, não gerará receitas para o Estado do Ceará caso o H<sub>2</sub>v, produto derivado da energia elétrica seja destinado à exportação.

**Palavras-chave:** hidrogênio verde; tributação; *royalties*.

## **ABSTRACT**

Green hydrogen has been presented as an energy vector and a clean and renewable energy source capable of facing the challenges of this sector, becoming a viable alternative to fossil fuels. This paper aims to present the development of green hydrogen in Brazil, seeking to analyze the regulatory and taxation approach of this energy matrix widely viewed as a factor for the development of the State of Ceará. The paper will seek to identify and discuss the initiatives in Brazil for the development of energy through green hydrogen, from the perspective of a “green economy”, low-carbon production and sustainable development, but the need for financing of the public sector through taxation and/or royalties has been taken into account. It is worth noting that the tax charged on electricity supply operations, mainly the ICMS, a state tax, is a vital source of revenue collection for the federated states, which, however, will not generate revenue for the State of Ceará if H<sub>2</sub>v, a product derived from electricity, is destined for export.

**Keywords:** green hydrogen; taxation; royalties.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Possíveis rotas para a produção e utilização do hidrogênio como vetor energético.....	13
Figura 2 - Distribuição de Projetos de Hidrogênio Verde ao longo do tempo.....	18
Figura 3 - Eixos temáticos que compõem o PNH2.....	21
Figura 4 - Oferta Interna de Energia, 2022.....	22
Figura 5 - Oferta Interna de Energia elétrica, 2022.....	23
Figura 6 - Capacidade instalada de energia eólica e solar no Brasil [GW].....	24
Figura 7 - Hub de Hidrogênio Verde no Complexo do Pecém.....	27
Figura 8 - Alíquotas nominais do ICMS por estado.....	32

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Benefícios fiscais concedidos aos desenvolvedores de usinas eólicas no Brasil.....	26
Quadro 2 - Empresas que assinaram memorandos de entendimentos.....	28
Quadro 3 - Tributos e encargos da energia elétrica.....	31

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>HIDROGÊNIO VERDE</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Hidrogênio a partir da eletrólise - hidrogênio verde</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Hidrogênio verde no mundo</b> .....	<b>15</b>
<b>2.3</b>	<b>Hidrogênio verde no Brasil</b> .....	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b>Hidrogênio verde no Ceará</b> .....	<b>26</b>
<b>3</b>	<b>TRIBUTAÇÃO DO HIDROGÊNIO VERDE</b> .....	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>ROYALTIES NO HIDROGÊNIO VERDE</b> .....	<b>36</b>
<b>4.1</b>	<b>Origem dos <i>royalties</i></b> .....	<b>38</b>
<b>4.2</b>	<b>Legislação dos <i>royalties</i></b> .....	<b>39</b>
<b>4.3</b>	<b><i>Royalties</i> no hidrogênio verde</b> .....	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A presente dissertação tem o objetivo de apresentar o contexto de produção do hidrogênio verde no Brasil e no mundo, especialmente a tributação existente no Estado do Ceará e a instituição dos royalties como alternativa à tributação.

A demanda energética mundial vem aumentando juntamente com a crescente pressão da política externa pelo controle de emissões dos poluentes. Isso implica necessariamente em buscas por soluções compatíveis com o desenvolvimento sustentável. De acordo com IEA (2019), para cumprir o objetivo de Paris<sup>1</sup>, as emissões precisariam atingir o pico na próxima década e depois cair a zero por volta de 2050. Nessa corrida em direção à neutralidade climática, muitos países anunciaram diferentes estratégias que envolvem a profunda transformação do setor energético, industrial e setores de infraestrutura.

Tendo em vista o fato que o hidrogênio tem sido apresentado como um vetor energético e uma fonte de energia limpa e renovável capaz de enfrentar os desafios deste setor, tornando-se uma alternativa viável aos combustíveis fósseis.

O Ceará, e também o Brasil, devido a condições climáticas excelentes e favoráveis para geração de energia elétrica por meio de fontes eólicas e solar, juntamente com uma matriz hídrica já consolidada no território nacional tem uma posição de destaque para se tornar um grande exportador de hidrogênio de baixo carbono.

O hidrogênio é um combustível que pode ser desenvolvido de diversas formas, podendo inclusive utilizar diferentes insumos, assim a sua obtenção pode privilegiar as potencialidades locais, pode contribuir para garantir o fornecimento de energia após o declínio da produção de petróleo. Do ponto de vista ambiental, a utilização do hidrogênio como vetor energético emite somente água como subproduto, o que torna a sua utilização ambientalmente adequada.

---

<sup>1</sup> O Acordo de Paris é um tratado internacional adotado em 12 de dezembro de 2015, durante a 21ª Conferência das Partes (COP21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), em Paris, França. Entrou em vigor em 4 de novembro de 2016, com o objetivo principal de limitar o aumento da temperatura global a bem abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais, e de envidar esforços para limitá-lo a 1,5°C. (HÖHNE, N.; DEN ELZEN, M.; ESCALANTE, D. "Regional GHG reduction targets based on effort sharing: a comparison of studies". *Climate Policy*, v. 14, n. 1, p. 122-147, 2014).

O hidrogênio verde pode ser definido como o “*hidrogênio gerado a partir da eletrólise da água, cuja produção se utiliza da energia elétrica gerada por fontes de energia renováveis, sem emissão de carbono no seu ciclo de produção*”<sup>2</sup>.

O trabalho buscará identificar e discutir as iniciativas no Brasil para o desenvolvimento da energia através do hidrogênio verde, numa perspectiva de “economia verde”, produção de baixo carbono e desenvolvimento sustentável, mas levando-se em conta a necessidade de financiamento do setor público através da tributação. Ressalta-se que o imposto cobrado nas operações de fornecimento de energia elétrica, sobretudo o ICMS, imposto de competência estadual, é fonte vital de angariação de recursos para os estados federados. É com o valor dos impostos que o Estado consegue fazer suas políticas públicas, incluindo o financiamento de projetos energéticos.

Necessário ressaltar que o Estado do Ceará já firmou 32 memorandos de intenções com empresas privadas para a viabilização de projetos de produção de hidrogênio verde.

Dentro deste contexto, este trabalho procura fazer uma contribuição na área de tributação dentro da cadeia produtiva do hidrogênio verde no Ceará.

O trabalho se voltará para a melhor alternativa que o Estado do Ceará pode adotar dentro de um cenário possível de oportunidades que vêm sendo delineadas pelo setor privado. Conhecer o potencial que a produção pode ter no Estado é essencial para buscar o pioneirismo na produção do H<sub>2</sub>V dentre as opções existentes atualmente.

Não será possível descrever toda a cadeia produtiva de cada opção de produção, mas se fará um resumo de cada alternativa proposta nos memorandos que o governo estadual assinou vislumbrando uma possível escolha ótima.

O tema é tão relevante que o governo brasileiro apresentou, no Fórum Ministerial do Diálogo de Alto Nível das Nações Unidas sobre Energia 2021, das Organização das Nações Unidas (ONU), dois pactos energéticos (*energy compacts*) governamentais, em que se comprometeu voluntariamente em desenvolver biocombustíveis e hidrogênio, como contribuição nacional para acelerar o cumprimento das metas do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7 (ODS 7), que prevê acesso universal a energias limpas (Brasil, 2021).

---

<sup>2</sup> Lei Estadual n.º 18.459, de 07 de setembro de 2023.

O trabalho está dividido na conceituação do hidrogênio verde, hidrogênio verde na vertente mundial, bem como no Brasil e no Estado do Ceará; a tributação da cadeia produtiva do hidrogênio quando produzido através a eletrólise da água e a instituição dos royalties como alternativa à tributação.

## 2 HIDROGÊNIO VERDE

De acordo com pesquisadores da Universidade de Columbia, o hidrogênio é o elemento químico mais abundante no Universo conhecido, constitui aproximadamente 75% de toda a matéria, o que representa 90% dos átomos. Este elemento é encontrado em grande quantidade nas estrelas e nos planetas gigantes gasosos. No entanto, na atmosfera terrestre, sua presença é relativamente escassa, com uma concentração aproximada de 1 ppm (parte por milhão) em volume (Gomes Neto, 2005, p. 87).

Embora o hidrogênio em sua forma livre não seja abundante na atmosfera terrestre, ele está presente em diversos compostos, tais como a água e os compostos orgânicos, que incluem todas as formas de vida conhecidas na Terra. Além disso, o hidrogênio é um componente fundamental dos combustíveis fósseis e do gás natural (Gomes Neto, 2005, p. 87).

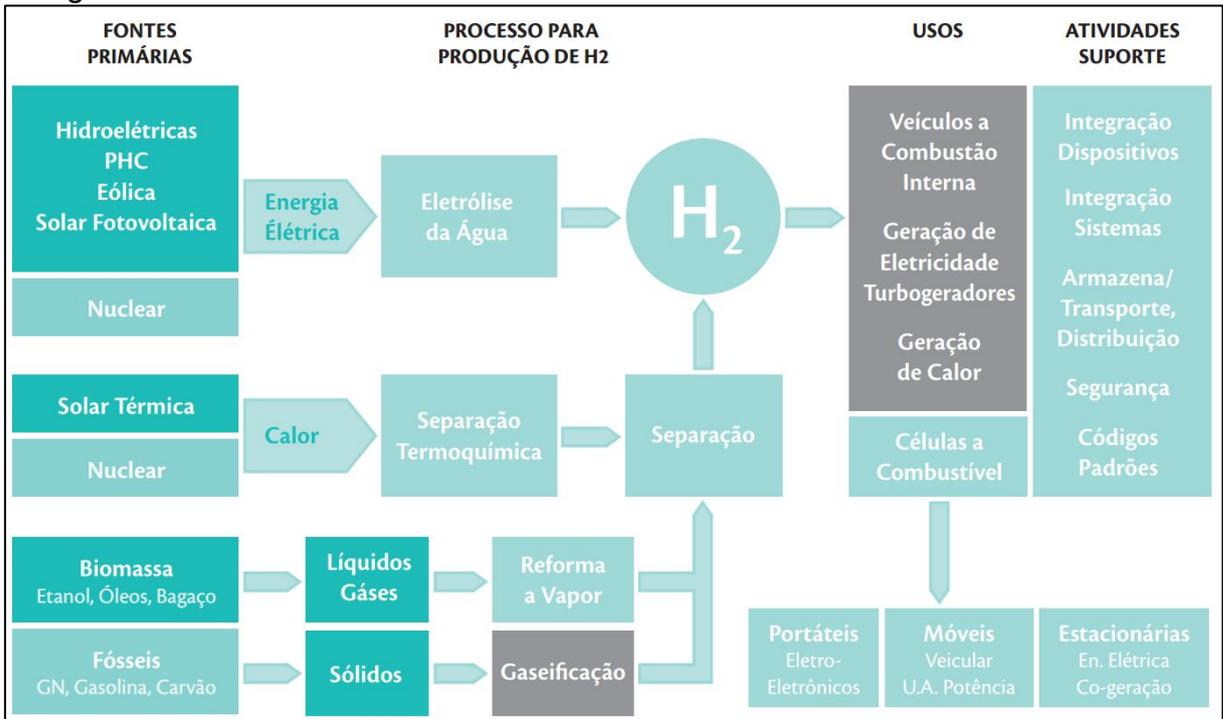
Na Terra, o hidrogênio é encontrado principalmente na água e em combustíveis fósseis, incluindo gás natural, carvão mineral e petróleo (Atkins *et al.*, 2018). Atualmente, existem métodos para obter hidrogênio tanto a partir da água quanto de outras fontes, exigindo a aplicação de técnicas específicas para cada uma delas (CGEE, 2010).

Além dessas características, o hidrogênio é incolor, inodoro, atóxico, insípido, insolúvel em água e altamente inflamável. Esta última propriedade é particularmente útil para sua utilização como combustível, pois sua alta instabilidade permite que ele reaja com o oxigênio da atmosfera, liberando uma grande quantidade de energia. Dessa forma, o hidrogênio se destaca como um importante vetor para a geração de energia (Neves; Corrêa; Cardoso, 2008, p. 52).

Além da busca por fontes de energia limpa e renovável, "*a aplicação das tecnologias do hidrogênio é considerada por muitos especialistas como uma alternativa à utilização dos atuais combustíveis fósseis no transporte*" (CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010, p. 10). Este cenário é favorecido pelo fato de que tal aplicação apresenta baixos impactos ambientais e, nas grandes metrópoles, tende a contribuir para a redução dos níveis de poluição atmosférica.

A utilização do hidrogênio como vetor energético, a partir de diversos insumos e processos diversificados, posiciona-o como um elemento integrador entre várias tecnologias existentes e futuras, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Possíveis rotas para a produção e utilização do hidrogênio como vetor energético



Fonte: PNH2 (2021).

Como se pode observar na figura 1, é possível produzir o hidrogênio por diversas formas. Através da eletrólise da água – quando se aplica a energia elétrica diretamente na água, separando suas moléculas, de um lado o hidrogênio e do outro o oxigênio -, podendo se utilizar diversas fontes de energia primária, desde que já transformada em energia elétrica.

Os demais processos produtivos (separação termoquímica, reforma a vapor, gaseificação) não possuem características que permitam que se tenha o hidrogênio verde como produto final, pois realizam a separação do hidrogênio com a emissão de gás carbônico (CO<sub>2</sub>).

As fontes energéticas são classificadas como primárias e secundárias. As fontes primárias, também conhecidas como fontes de energia natural, são aquelas que existem livremente na natureza e podem gerar energia de forma direta. Essas fontes são subdivididas em renováveis (solar, eólica, biomassa, hídrica, oceânica, geotérmica e nuclear<sup>3</sup>), não renováveis (carvão mineral, petróleo e gás natural).

<sup>3</sup> A UNEP, que é o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, classifica a energia nuclear como uma fonte renovável de energia, apesar de todas as implicações dos resíduos radioativos.

Por outro lado, as fontes de energia secundária, como a energia elétrica, não estão disponíveis na natureza para uso direto e precisam ser produzidas. Sua principal aplicação é no consumo final (Foster; Araújo; Silva, 2005, p. 755).

Utilizando esse conceito, o hidrogênio não pode ser caracterizado como uma fonte de energia primária, pois para obtê-lo é necessário extraí-lo de sua fonte de origem. O hidrogênio quase sempre está associado a outros elementos químicos, e o processo de separação, assim como em qualquer fonte de energia secundária, gera perdas de energia. Portanto, o hidrogênio constitui-se como uma fonte de energia secundária que precisa ser produzida, de modo semelhante à eletricidade (Foster; Araújo; Silva, 2005, p. 755).

O processo atual de produção de hidrogênio consome mais energia do que a energia gerada pelo próprio hidrogênio, o que é de se esperar em um processo de conversão de energia<sup>4</sup>. No entanto, as vantagens associadas ao seu uso podem tornar essa fonte de energia promissora, especialmente com o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes para sua obtenção (Foster; Araújo; Silva, 2005, p. 755).

## **2.1 Hidrogênio a partir da eletrólise - hidrogênio verde**

A produção de hidrogênio pode ser descarbonizada através de várias rotas de produção, as quais apresentam diferentes intensidades de emissão de dióxido de carbono e níveis de complexidade tecnológica. Entre as opções mais utilizadas, destaca-se o hidrogênio de baixo carbono, que pode ser produzido pela separação da água utilizando energia renovável por meio da eletrólise, uma tecnologia promissora no contexto da produção energética de hidrogênio. Além disso, o hidrogênio de baixo carbono pode ser obtido pela reforma de metano a vapor (SMR) a partir da biomassa, bem como por meio de outras tecnologias de gaseificação (Rosa; Mazzotti, 2022).

---

<sup>4</sup> Ressalte-se que o chamado “modo perpétuo de energia” é um conceito hipotético de uma máquina que pode funcionar indefinidamente sem uma fonte externa de energia. Esse conceito é impossível por violar a primeira e a segunda lei da termodinâmica, a saber: primeira lei da termodinâmica afirma que a energia total de um sistema isolado permanece constante. Uma máquina de movimento perpétuo de primeira espécie precisaria gerar energia continuamente sem qualquer fonte, o que é impossível, pois violaria a conservação de energia. Já a segunda lei da termodinâmica estabelece que a entropia de um sistema isolado sempre aumenta com o tempo, e processos energéticos reais sempre envolvem alguma perda de energia útil na forma de calor. Uma máquina de movimento perpétuo de segunda espécie teria que operar sem perda de energia, o que é inviável, pois todos os processos naturais tendem a aumentar a entropia. (PASSOS, Júlio César. Os experimentos de Joule e a primeira lei da termodinâmica. *In*: Revista Brasileira do Ensino de Física, v. 31, n. 3, 3603, 2009).

A utilização do hidrogênio como fonte de geração de energia apresenta perspectivas ambientais altamente promissoras. Isso ocorre porque seu uso como combustível resulta apenas na emissão de água, a qual, em princípio, pode ser descartada sem maiores preocupações. Portanto, o hidrogênio se torna uma fonte de geração de energia não poluente, além de ser o elemento químico mais abundante na natureza (Dias, 2002).

Nesta perspectiva, a principal vantagem da utilização do hidrogênio é que o subproduto resultante da queima é apenas água. Dessa forma, não há emissão de dióxido de carbono na atmosfera, configurando o hidrogênio como uma fonte de obtenção de energia limpa. Essa característica contribui para a redução da poluição e do efeito estufa (Foster; Araújo; Silva, 2005).

## **2.2 Hidrogênio verde no mundo**

A adoção de fontes energéticas mais sustentáveis tem sido objeto de debate em âmbito global, em virtude dos impactos decorrentes das emissões de gases do efeito estufa originadas pela exploração de combustíveis fósseis. Tais impactos acarretam uma série de consequências adversas, tais como o incremento do fenômeno do aquecimento global, a fusão das geleiras polares e a elevação do nível dos oceanos, dentre outros efeitos (ONU, 2023).

O hidrogênio emerge como uma alternativa promissora para substituir os combustíveis fósseis, tais como carvão mineral, petróleo e gás natural. Essa perspectiva é motivada pela sua capacidade de ser produzido através de métodos sustentáveis, o que lhe confere a designação de "hidrogênio verde" (EPE, 2022b).

É previsto um aumento significativo na implementação de novos projetos de energias renováveis com o intuito de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis. Até janeiro de 2023, foram divulgadas 112 propostas de grandes projetos relacionados ao Hidrogênio Renovável em todo o mundo. Dentre essas propostas, 91 se referem a projetos para o fornecimento de Hidrogênio Verde (H2V) e 21 para Hidrogênio de Baixo Carbono. Para a execução total ou parcial dessas propostas até o ano de 2030, estima-se que será necessário um investimento aproximado de 150 bilhões de dólares (US\$) (Hydrogen Council, 2023).

Diante das projeções de expansão do mercado de hidrogênio para fins energéticos, é previsto um considerável aumento no comércio internacional desse

recurso. Importantes países da União Europeia, com destaque para a Alemanha, já delinearão políticas para subsidiar investimentos em instalações de produção de hidrogênio em outras nações, com o intuito de fomentar a consolidação do mercado global de hidrogênio com finalidades energéticas (EPE, 2021).

É pertinente ressaltar que, em concomitância com o REPowerEU (Política energética nos planos de recuperação e resiliência dos países da UE), diversos países europeus delinearão suas próprias metas e estratégias para o desenvolvimento do hidrogênio. Um exemplo é Portugal, que apresentou a Estratégia Nacional para o Hidrogênio (EN-H2) já em 2020 (Estratégia Nacional para o Hidrogênio (EN-H2)). Da mesma forma, a Dinamarca e a Alemanha manifestaram interesse em fortalecer seus mercados internos de hidrogênio e, para tanto, planejam cooperar na implementação de uma infraestrutura transfronteiriça para o hidrogênio (Gasunie / Energinet, 2023).

Outro evento de significativa relevância que impulsionou diversos países a aumentarem os investimentos em hidrogênio verde foi a ratificação do Acordo de Paris. O Acordo de Paris<sup>5</sup> constitui um tratado global cujo propósito é mitigar a emissão de gases de efeito estufa, notadamente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), fortalecendo, assim, a resposta coletiva das nações frente à ameaça climática

---

<sup>5</sup> O Acordo de Paris representa uma mudança paradigmática na governança climática global, movendo-se de um regime baseado em obrigações fixas para um modelo baseado em compromissos nacionais voluntários e autoimpostos, com um mecanismo de revisão que visa aumentar progressivamente a ambição climática global.

O Acordo de Paris é um marco significativo na diplomacia climática global, por diversas razões:

1. Compromissos Nacionais Determinados: diferentemente do Protocolo de Kyoto, que impunha metas obrigatórias de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) para países desenvolvidos, o Acordo de Paris adota uma abordagem mais inclusiva, solicitando que todos os países, independentemente de seu nível de desenvolvimento, apresentem Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs). Estas NDCs são planos nacionais que detalham os esforços de cada país para reduzir suas emissões e se adaptar aos impactos da mudança climática.

2. Revisão e Transparência: o acordo estabelece um ciclo de revisão quinquenal, onde os países são esperados a revisar e, idealmente, aumentar a ambição de suas NDCs. Além disso, inclui mecanismos robustos de transparência e accountability para monitorar e relatar o progresso de cada país.

3. Financiamento Climático: reconhecendo que os países em desenvolvimento necessitam de suporte financeiro, o Acordo de Paris reitera a meta de mobilizar US\$ 100 bilhões por ano até 2020, com o objetivo de apoiar ações climáticas nesses países. Também incentiva fluxos financeiros adicionais para apoiar tanto a mitigação quanto a adaptação.

4. Adaptação e Perdas e Danos: o tratado enfatiza a importância da adaptação às mudanças climáticas e inclui disposições para abordar perdas e danos associados aos impactos adversos das mudanças climáticas, reconhecendo que algumas consequências podem ser irreversíveis ou de longo prazo.
5. Atores Não Estatais: o acordo promove a participação de uma ampla gama de atores, incluindo cidades, regiões, empresas e organizações da sociedade civil, reconhecendo que a luta contra as mudanças climáticas requer esforços colaborativos e coordenados em todos os níveis da sociedade.

ONU (2016). The Paris Agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Disponível em:

<[https://unfccc.int/files/paris\\_agreement/application/pdf/parisagreement\\_publication.pdf](https://unfccc.int/files/paris_agreement/application/pdf/parisagreement_publication.pdf)>. Acesso em: 05 mai. 2024.

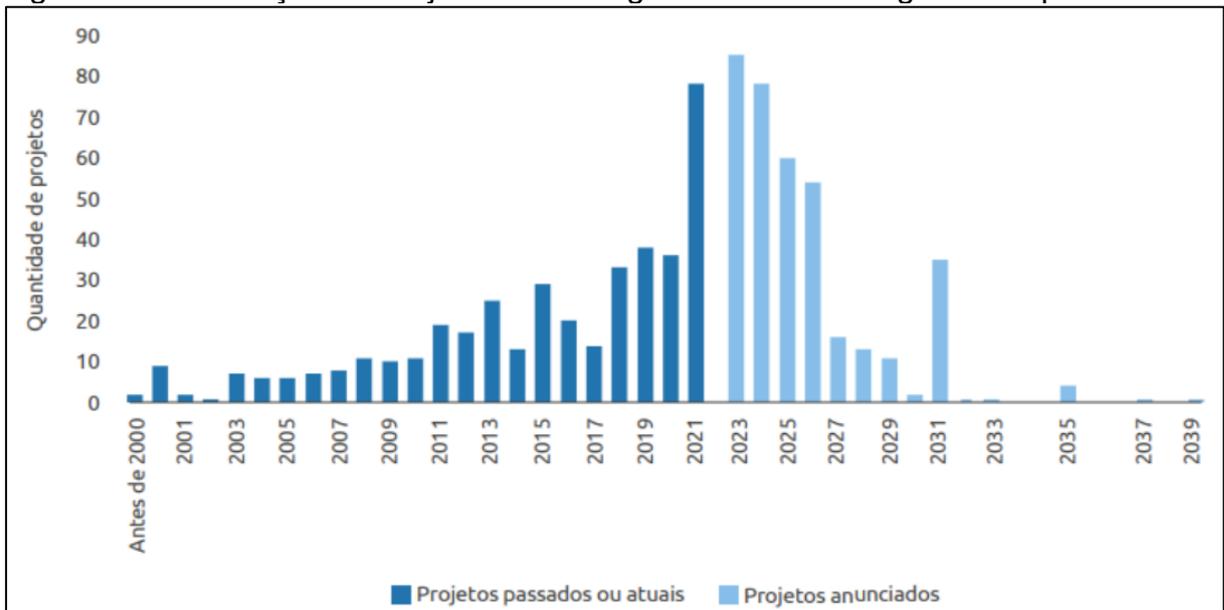
(MCTIC, 2017). Em virtude dos compromissos assumidos pelos países signatários do Acordo de Paris, uma corrida para a produção de hidrogênio verde foi iniciada, visto que este se tornou uma estratégia fundamental para o cumprimento das metas estipuladas neste tratado.

Enquanto a Europa se destaca em termos de anúncios de projetos relacionados ao hidrogênio, é a América do Norte que lidera em investimentos já comprometidos, totalizando US\$ 10 bilhões. A Europa segue em segundo lugar, com US\$ 7 bilhões, seguida pelo Oriente Médio e China, ambos com US\$ 5 bilhões. É importante ressaltar que o crescimento das alocações na China registrou o maior aumento, com uma elevação de mais de 200% (Hydrogen Council, 2023).

Um desafio contemporâneo na produção de hidrogênio verde é o seu preço elevado em comparação com outras formas de produção de hidrogênio. Os custos de produção refletem diretamente a competitividade de um produto. Enquanto o custo de produção de hidrogênio a partir de fontes fósseis varia de US\$ 1,5/kg a US\$ 7,5/kg, a produção de hidrogênio por meio da eletrólise da água apresenta uma faixa de variação mais ampla, situando-se entre US\$ 3,4/kg e US\$ 12/kg. No entanto, com o avanço de novas tecnologias e políticas públicas direcionadas ao estímulo da inovação, espera-se uma redução nos custos do hidrogênio verde, tornando-o mais competitivo ao longo do tempo.

De acordo com o Conselho Nacional das Indústrias (CNI), dentre as quase 1.000 iniciativas em todo o mundo, verifica-se uma aceleração significativa na quantidade de projetos no ano de 2021 em comparação com o período de 2018 a 2020. Esta tendência de aceleração foi corroborada pelos anúncios de projetos para os anos de 2022 e 2023, conforme evidenciado na Figura 2.

Figura 2 – Distribuição de Projetos de Hidrogênio Verde ao longo do tempo



Fonte: CNI (2022).

Com base na análise realizada pelo Conselho Nacional das Indústrias (CNI) em 2022, o levantamento de todas as iniciativas mencionadas revela uma lista composta por 67 países que possuem pelo menos um projeto voltado para o hidrogênio como vetor energético. Os 10 primeiros países desta lista representam aproximadamente 2/3 do total e são, em ordem decrescente de número de projetos: Alemanha (139), Espanha (81), Estados Unidos (74), Holanda e Austrália (ambos com 65 projetos cada), Grã-Bretanha (53), França (51), China (48), Dinamarca (43) e Noruega (33).

A América Latina lidera em termos de oferta declarada de hidrogênio renovável, com projeções de alcançar 4,8 milhões de toneladas até 2030 (Armijo; Philibert, 2020). Esta região apresenta um considerável potencial para se tornar uma das principais exportadoras de Hidrogênio Verde (H2V) do mundo, destacando-se especialmente três países: Chile, Argentina e Brasil (IEA, 2022b). No Chile, em particular, foram divulgados planos para implementação de projetos de produção de amônia renovável, impulsionados pelas condições favoráveis de ventos e incidência solar (Armijo; Philibert, 2020). Adicionalmente, em 2020, o governo chileno assumiu uma posição pioneira na questão climática, ao tornar-se o primeiro país em desenvolvimento a se comprometer com a neutralidade de carbono até 2050, além de ser um dos poucos a avançar na tramitação de uma legislação sobre o assunto (Gobierno de Chile, 2020).

No contexto asiático, a China emerge como o principal consumidor de hidrogênio (H<sub>2</sub>) em nível global, seguida pelos Estados Unidos e o Oriente Médio, com demandas estimadas em 28 milhões de toneladas (Mt) e 12 Mt de H<sub>2</sub>, respectivamente, no ano de 2021 (IEA, 2022b). O país asiático apresenta um notável potencial para se tornar uma das principais influências no mercado mundial de H<sub>2</sub>. Atualmente, a China detém a maior capacidade de eletrólise do mundo, com uma capacidade instalada de aproximadamente 200 megawatts (MW), sendo que 75% dessa capacidade é proveniente de uma usina que entrou em operação em 2021 (Hydrogen Council, 2022).

O governo chinês está implementando medidas significativas para enfrentar as mudanças climáticas, incluindo o anúncio de mais de 50 projetos relacionados ao hidrogênio (H<sub>2</sub>). Além disso, comprometeu-se a alcançar a neutralidade de carbono líquida até 2060 e pretende atingir o pico de emissões antes de 2030 (Hydrogen Council, 2021). Para viabilizar esses objetivos, o país estabeleceu metas ambiciosas em todos os setores e, graças a alguns de seus projetos, conseguiu colocar em operação cerca de 800 caminhões com tecnologia de célula a combustível de hidrogênio ainda em 2021 (IEA, 2022b).

Outros países asiáticos também estão liderando esforços para impulsionar o mercado de hidrogênio (H<sub>2</sub>), como o Japão e a Índia, onde foram estabelecidas metas e medidas para incentivar o desenvolvimento desse mercado. O governo japonês comprometeu-se a investir US\$ 2 bilhões na criação de uma cadeia de suprimentos de hidrogênio liquefeito (Hydrogen Council, 2022), enquanto na Índia já é exigida a utilização de hidrogênio renovável em processos industriais (Irena, 2023).

Países como Japão e Coreia do Sul estão posicionando-se no mercado global de hidrogênio (H<sub>2</sub>) principalmente como importadores, juntamente com a Europa (IEA, 2022b). A Coreia do Sul implementou medidas ambiciosas para a adoção de veículos elétricos com célula a combustível (CaC) pelo setor público como parte de seu plano para o uso do hidrogênio (Hydrogen Council, 2022). Simultaneamente a essas iniciativas, principalmente para atender à demanda gerada pelo setor de transporte, a Coreia do Sul está construindo a maior instalação de liquefação de hidrogênio do mundo, com capacidade para 90 toneladas por dia (tpd), com previsão de entrada em operação ainda em 2023 (IEA, 2022b).

O Oriente Médio possui uma vantagem significativa para a produção de hidrogênio (H<sub>2</sub>) devido ao baixo Custo Médio Ponderado de Capital (CMPC). Isso

torna países como Israel, Kuwait, Jordânia e Emirados Árabes Unidos atrativos para a produção de H<sub>2</sub>. De fato, os Emirados Árabes Unidos têm a ambição de conquistar 25% do mercado global de H<sub>2</sub> até 2030 e têm registrado um notável crescimento em seu mercado de energias renováveis, que aumentou quase oito vezes desde 2017 (Irena, 2022).

Na Oceania, a Austrália lançou sua Estratégia Nacional para o Hidrogênio em 2019, na qual definiu 57 ações a serem empreendidas pelo governo australiano em conjunto com a indústria e a comunidade, visando realizar o potencial de hidrogênio limpo do país. Com isso, a nação almeja consolidar-se como um dos principais protagonistas no setor de hidrogênio até 2030, aspirando a ser um dos principais exportadores globais desse recurso (COAG Energy Council Hydrogen Working Group, 2019). No início de 2023, foi iniciada uma consulta pública sobre a Estratégia Nacional para o Hidrogênio da Austrália, que está passando por uma revisão para assegurar a realização das metas estabelecidas na estratégia (ECMC, 2023).

O norte da África também detém uma vantagem significativa em termos de infraestrutura para o transporte de hidrogênio, uma vez que está interligado à Europa por meio de uma rede de gasodutos de gás natural já existentes. Caso esses gasodutos sejam adaptados para o transporte de hidrogênio, eles representarão uma solução altamente viável para cumprir as metas estabelecidas pela União Europeia até 2030, oferecendo uma alternativa eficaz e econômica para impulsionar o comércio de Hidrogênio Verde (H<sub>2</sub>V). Por outro lado, a África Subsaariana, embora apresente um considerável potencial de geração de H<sub>2</sub>V, enfrenta um desafio significativo devido ao elevado Custo Médio Ponderado de Capital (CMPC), que encarece a produção e limita consideravelmente seu envolvimento no comércio internacional, situação semelhante à da Ásia Central (Irena, 2022).

### **2.3 Hidrogênio verde no Brasil**

No contexto brasileiro, a questão do hidrogênio verde surge como uma oportunidade para diversificar a matriz energética do país. O hidrogênio verde, como já mencionado, é produzido por meio da eletrólise da água, utilizando equipamentos alimentados por fontes renováveis de energia. Dado que alguns países enfrentam condições climáticas desfavoráveis para a produção de hidrogênio verde, eles optam

por reduzir as emissões de carbono por meio de investimentos maiores no hidrogênio azul, estabelecendo parcerias com outras nações que possuem condições mais propícias para essa produção. Devido à sua matriz energética amplamente renovável, com destaque para a produção de energia eólica e solar, o Brasil apresenta oportunidades significativas para a produção de hidrogênio verde, tanto para uso interno quanto para exportação. Somado a isso, o governo brasileiro propôs iniciativas para regulamentação e visibilidade acerca do hidrogênio renovável por meio da criação do PNH2 (MME, 2021).

O Brasil tem recebido investimentos significativos e estabelecido parcerias com outros países no contexto do hidrogênio verde. Por exemplo, na cooperação técnica entre Brasil e Alemanha, o país europeu investiu 34 milhões de euros para estabelecer estruturas, compartilhar conhecimentos, promover capacitações, fomentar inovação e ampliar as oportunidades de mercado por meio do programa H2 Brasil (German/Brazilian Power-to-X Partnership Program) (EPE, 2022b). Além disso, uma iniciativa importante foi a formação de um grupo de trabalho entre Brasil e Chile para promover a colaboração bilateral no setor de hidrogênio verde (EPE, 2021).

Para assegurar a regulamentação, aumentar a visibilidade das novas iniciativas e elaborar estratégias para o desenvolvimento das tecnologias de hidrogênio no país, foi instituído o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2). Este programa tem como objetivo facilitar o desenvolvimento de três pilares fundamentais: Políticas Públicas, Tecnologia e Mercado. Para alcançar esses objetivos, o PNH2 foi estruturado em seis eixos principais, conforme ilustrado na Figura 3 (MME, 2021).

Figura 3 – Eixos temáticos que compõem o PNH2



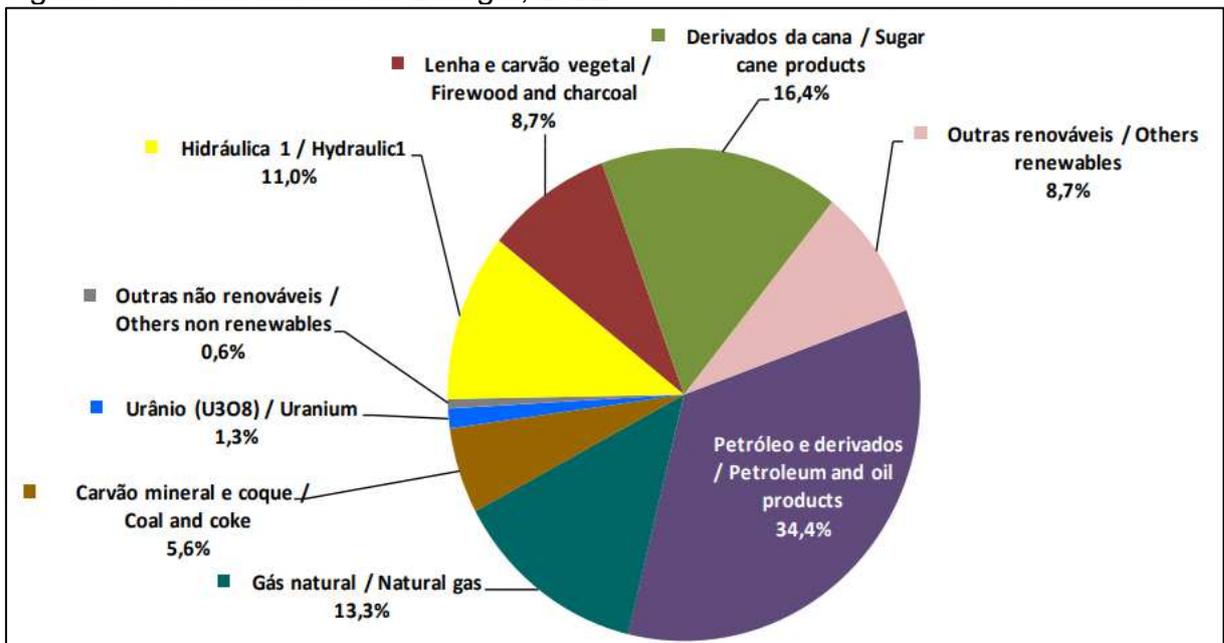
Fonte: PNH2 (2021).

O Brasil destaca-se como futuro exportador de hidrogênio de baixo carbono devido às suas condições climáticas excepcionais e favoráveis para a geração de energia elétrica por meio de fontes eólicas, solares e hídricas. Entre as opções de baixo carbono, a eletrólise requer preços de eletricidade variando entre US\$ 10 e US\$ 40 por megawatt-hora (MWh) e de 3 mil a 6 mil horas de carga para se tornar competitiva em termos de custos (IEA, 2019).

É compreensível que o custo de produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis não seja completamente viável no momento, especialmente em termos econômicos. No entanto, é possível mitigar os custos de produção por meio do ganho de escala e inovação, o que poderia reduzir significativamente o custo do Hidrogênio Verde (H2V) para cerca de US\$ 1,3 por quilo (kg) até 2030 em regiões com recursos renováveis abundantes (IEA, 2019).

O Brasil possui uma matriz energética bastante diversificada e uma considerável participação de fontes renováveis de energia, com destaque para a hidrelétrica, que sozinha foi responsável por 12,5% da Oferta Interna de Energia (OIE) em 2022, como ilustrado na Figura 4. No total, as fontes renováveis representam 47,4% da OIE, o que significa que quase metade do suprimento de energia dentro do território brasileiro foi proveniente de fontes não emissoras de gases de efeito estufa (GEE) (EPE; MME, 2023a).

Figura 4 – Oferta Interna de Energia, 2022

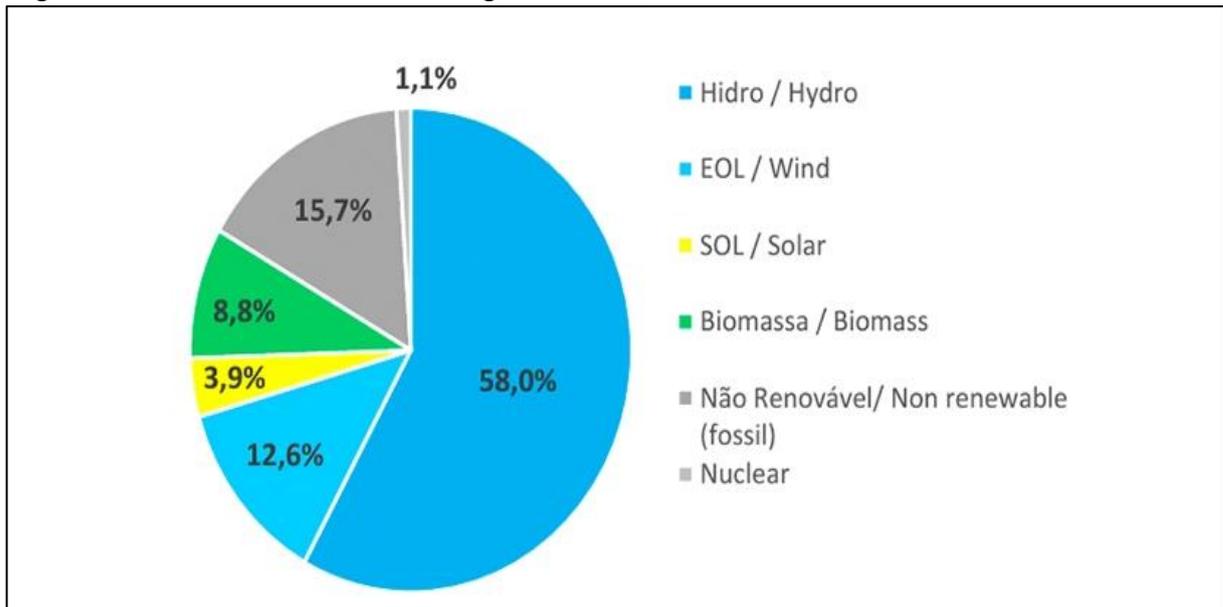


Fonte: Balanço Energético Nacional - Ano base 2022, (EPE; MME, 2023a).

A matriz energética do Brasil contrasta significativamente com a Matriz Energética Mundial, na qual os combustíveis fósseis compõem aproximadamente 80% da oferta de energia (IEA, 2022a).

Para além da matriz energética, o Brasil também possui uma matriz elétrica com poucas emissões de carbono, com destaque para a energia hidráulica, que representa 58%. Esta é a distribuição de energia elétrica no Brasil no ano de 2022.

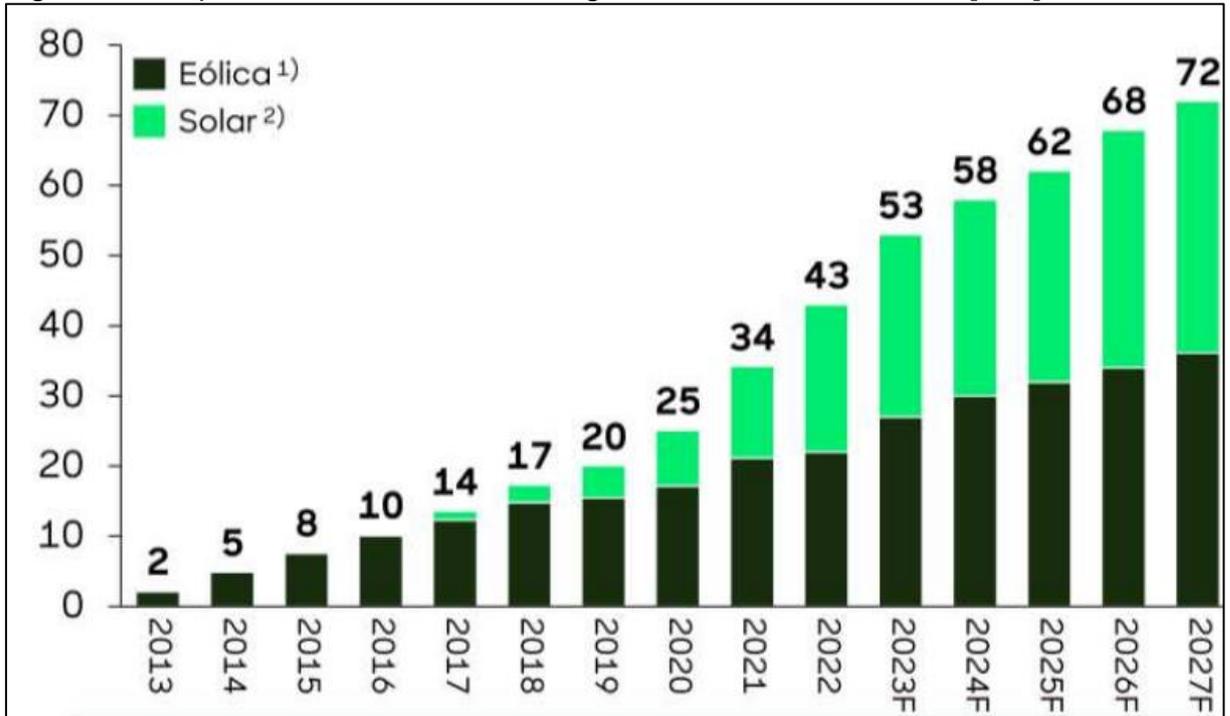
Figura 5 – Oferta Interna de Energia elétrica, 2022



Fonte: Balanço Energético Nacional - Ano base 2022, (EPE; MME, 2023a).

Observa-se uma tendência de tornar a matriz energética nacional cada vez mais sustentável, com o aumento da participação de fontes renováveis, principalmente eólica e solar, na Oferta Interna de Energia (OIE). Por exemplo, as fontes eólica e solar aumentaram sua participação de 0,2% para 2,3% e de 0,2% para 1,2%, respectivamente, no período de 2013 a 2022, aumentando sua contribuição em quase nove vezes para a OIE (EPE; MME, 2023b). Como ilustrado na Figura 6, espera-se que a capacidade instalada dessas fontes continue a aumentar nos próximos anos.

Figura 6 – Capacidade instalada de energia eólica e solar no Brasil [GW]



Fonte: “H2 Verde no Ceará: um ecossistema de oportunidades” (Roland Berger, 2023).

A matriz elétrica do Brasil é ainda mais sustentável do que a matriz energética como um todo, com as fontes renováveis representando quase 90% da Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE). De 2021 para 2022, houve uma redução significativa na participação de fontes não renováveis, que passaram de 22,6% para 12,3% na OIEE. Esse declínio foi impulsionado pelo crescimento na geração de energia eólica e solar, que aumentaram suas produções em 13% e 79,8%, respectivamente, e tiveram um aumento de 14,3% e 82,4% em sua capacidade instalada em relação ao ano anterior (EPE; MME, 2023a).

Além disso, conforme Oliveira (2022), o governo brasileiro já elaborou algumas normas de padronização do hidrogênio no Brasil, conforme se verifica abaixo:

- 1) ABNT ISO/TR 15916: fornece diretrizes para o uso de hidrogênio em suas formas gasosa e líquida, bem como o seu armazenamento em uma dessas ou outras formas (hidretos). Identifica as preocupações básicas de segurança, perigos e riscos e descreve as propriedades do hidrogênio que são relevantes para a segurança (ABNT, 2015).
- 2) ABNT NBR ISO 16110-1: trata a respeito de geradores de hidrogênio que utilizam tecnologias de processamento de combustível, aplica-se a

sistemas de geração de hidrogênio, embalados, autocontidos ou compatíveis de fábrica com uma capacidade menor que 400 m<sup>3</sup>/h a 0 °C e 101,325 kPa, referidos nesta norma como geradores de hidrogênio, que convertem um combustível de entrada em uma corrente rica em hidrogênio de composição e condições adequadas para o tipo de dispositivo que utilizará o hidrogênio (por exemplo, um sistema de geração de energia tipo célula de combustível ou um sistema de compressão, armazenamento e distribuição de hidrogênio).

- 3) ABNT NBR ISO 14687-1: referente a combustível de hidrogênio – especificação do produto – parte 1: todas as aplicações, exceto células a combustível de membrana de troca de prótons (PEM) para veículos rodoviários automotores (ABNT, 2010).
- 4) ABNT IEC/TS 62282-1: trata de tecnologias de pilhas a combustível (ABNT, 2007).
- 5) NBR IEC 62282-2: referente a tecnologias de células a combustível – parte 2: módulos de células a combustível que fornecem os requisitos mínimos para a segurança e o desempenho dos módulos da célula de combustível.
- 6) NBR ISO 17268: trata de dispositivos de conexão para reabastecimento de veículos terrestres com hidrogênio gasoso, aplica-se à verificação do projeto, da segurança e da operação de dispositivos de conexão para reabastecimento de veículos terrestres com hidrogênio gasosos (VTHG).
- 7) Resolução nº 5.947, de 1º de junho de 2021, da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT): referente a transporte de produtos perigosos e a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos, que atualiza o regulamento para o transporte rodoviário de produtos perigosos, aprova as suas instruções complementares, e dá outras providências.

O governo brasileiro também promove diversos benefícios fiscais aos desenvolvedores de usinas eólicas. Esses incentivos visam promover a expansão da capacidade de geração de energia eólica, reduzir os custos de produção e tornar o setor mais competitivo. A seguir, são destacados alguns dos principais benefícios fiscais disponíveis para os desenvolvedores de usinas eólicas no Brasil:

Quadro 1 – Benefícios fiscais concedidos aos desenvolvedores de usinas eólicas no Brasil

<b>Benefício</b>	<b>Diploma legal</b>	<b>Descrição</b>
Regime Especial para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI).	Lei nº 11.488/07, Decreto 6.144/07 e Instrução Normativa 758/07.	Desonerou o PIS/COFINS incidente na importação direta e na compra nacional de máquinas, aparelhos e equipamentos incorporados em obras de infraestrutura.
Tabela do Imposto sobre Produtos Industrializados (TIPI).	Decreto 8.950/16.	Reduziu a zero o IPI sobre equipamentos e componentes utilizados em aerogeradores.
Convênio do Conselho Nacional de Política Fazendária.	Convênio CONFAZ ICMS 101/96.	Permite que os Estados e o DF desonorem o ICMS incidente sobre operações internas, interestaduais e importação de aerogeradores e seus componentes, desde que isentos ou tributados à alíquota zero do IPI.
Imposto de Importação	Resolução Camex 125/16.	Para favorecer a indústria nacional aumentou a alíquota de importação para aerogeradores de potência igual ou inferior a 3.300 kVA.

Fonte: Cenários Eólica (2018).

Esses benefícios fiscais desempenham um papel fundamental na viabilização econômica dos projetos de energia eólica no Brasil, tornando-os mais atrativos para investidores nacionais e internacionais. Além de promoverem a expansão da capacidade instalada de energia renovável, esses incentivos também contribuem para a geração de empregos e o desenvolvimento econômico das regiões onde são implantados.

## 2.4 Hidrogênio verde no Ceará

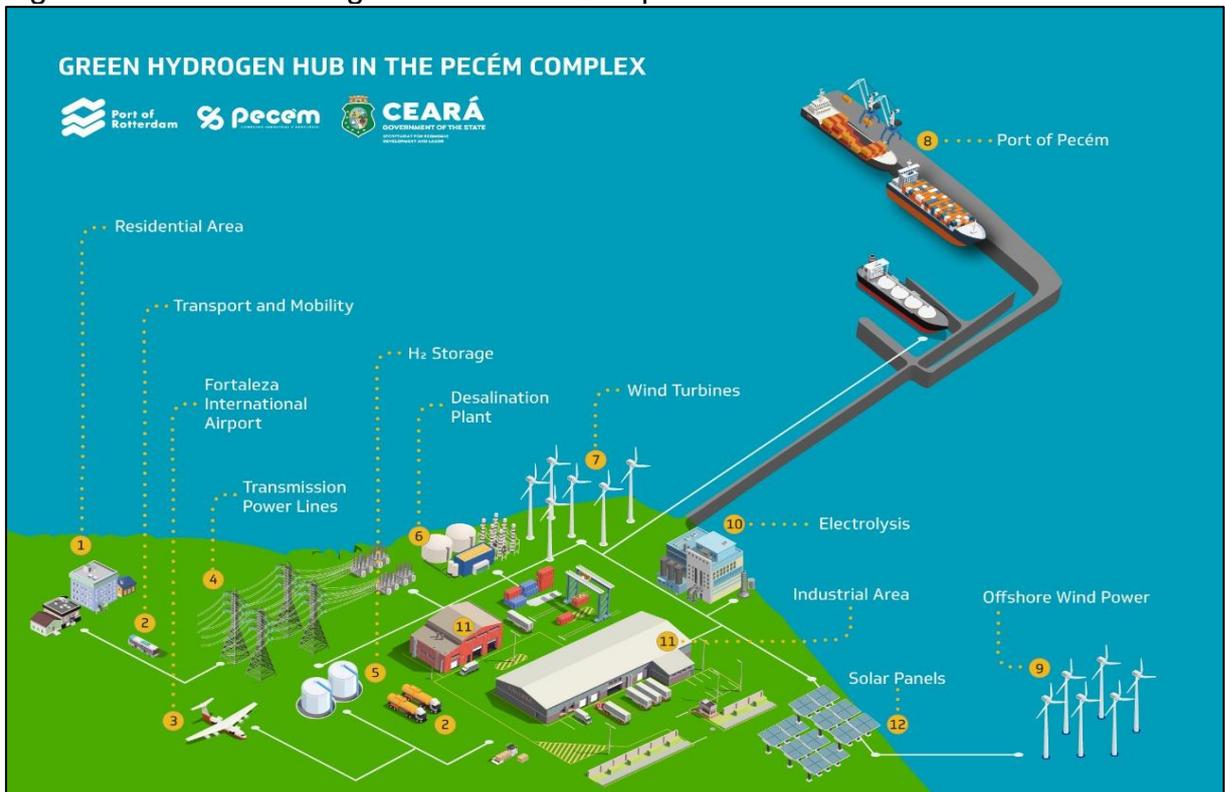
A região Nordeste, caracterizada por alta incidência solar e um fluxo constante de ventos ao longo do ano, vem se destacando nacionalmente na implementação de energias renováveis, como solar e eólica. Além disso, a região possui extensa área litorânea, bem como proximidade com os potenciais grandes consumidores do hidrogênio, que estão localizados na Europa e Estados Unidos. Esses fatores são fundamentais para tornar o Nordeste uma região atrativa para parcerias internacionais e para o recebimento de incentivos relacionados ao desenvolvimento do hidrogênio verde.

Nesse contexto, o Estado do Ceará, especialmente o Complexo do Pecém, possui vantagens por estar localizado em uma região estratégica.

O Complexo do Pecém é um complexo industrial e terminal portuário localizado entre os municípios de Caucaia e São Gonçalo do Amarante, no estado do Ceará. Este complexo é administrado por uma *joint venture* formada entre o Governo do Estado do Ceará e o Porto de Roterdã, na Holanda (Pecém, 2023).

O Complexo do Pecém, em colaboração com o Governo do Estado do Ceará, a Universidade Federal do Ceará (UFC) e a Federação das Indústrias do Ceará (FIEC), lançou o projeto do Hub de Hidrogênio Verde (Figura 7). Esta iniciativa visa transformar o Complexo do Pecém em um produtor, distribuidor e exportador de Hidrogênio Verde. Entre as vantagens deste local para a construção do Hub, destaca-se a relevância do Porto do Pecém, que se encontra em uma localização estratégica próxima aos Estados Unidos, Europa e Norte da África. Adicionalmente, é importante mencionar a parceria com o Porto de Roterdã, na Holanda, que já possui iniciativas de hidrogênio verde em andamento (Pecém, 2023). Esses fatores, juntamente com o potencial para a geração de energia solar e eólica no Ceará, tornam o projeto promissor.

Figura 7 – Hub de Hidrogênio Verde no Complexo do Pecém



Fonte: CIPP (2022).

É importante ressaltar que, em janeiro de 2023, o Complexo do Pecém produziu a primeira molécula de hidrogênio verde no Brasil (EDP, 2023). Esse marco, juntamente com os memorandos e contratos pré-firmados, sinaliza o início de uma importante jornada para essa tecnologia no país e demonstra os avanços realizados no Ceará. Isso comprova a grande relevância do estado para receber e desenvolver projetos de inovação dessa magnitude.

Cerca de 35 (trinta e cinco) empresas já assinaram memorandos de entendimento<sup>6</sup> com o Estado do Ceará para a produção de hidrogênio verde no complexo do Pecém. Essas são as empresas que assinaram Memorandos de Entendimentos com o Governo do Ceará (Ceará, 2024):

Quadro 2 – Empresas que assinaram memorandos de entendimentos

EMPRESAS	
1. Enegix Energy	19. HDF
2. White Martins/Linde	20. Mitsui
3. Qair	21. ABB
4. Fortescue (Pré-contrato)	22. Gold Wind
5. Eneva	23. Alupar
6. Diferencial	24. Mingyang Smart Energy
7. Hytron	25. Spic
8. H2helium	26. Gansu Science & Technology Investment
9. Neoenergia	27. PowerChina
10. Engie	28. Platform Zero
11. Transhydrogen Alliance	29. Green Hydrogen Corridor
12. Total Eren	30. Voltalia
13. AES Brasil (Pré-contrato)	31. Lightsource bp
14. Cactus Energia Verde (Pré-contrato)	32. EDF Renewables
15. Casa dos Ventos (Pré-contrato)	33. GoVerde
16. H2 Green Power	34. Hitachi
17. Comerc Eficiência	35. Jepri
18. Enel Green Power	

Fonte: Elaboração do autor.

Em julho de 2023, a Universidade Federal do Ceará (UFC) inaugurou o Laboratório de Hidrogênio e Máquinas Térmicas. Este laboratório recebeu um investimento superior a R\$ 500 mil e tem como principal objetivo adequar as

<sup>6</sup> Memorandos de Entendimento (MOUs, na sigla em inglês para *Memorandums of Understanding*) são documentos formais, mas não vinculativos, que estabelecem um acordo entre duas ou mais partes. Esses memorandos delineiam os termos e detalhes de um entendimento mútuo ou um acordo de cooperação, mas não impõem obrigações legais às partes envolvidas. Enquanto instrumento de Direito Internacional, têm sido utilizados para atos de forma mais simplificada, com menor formalidade, destinados a registrar princípios gerais que orientarão as relações entre as Partes, seja nos planos político, econômico, jurídico, cultural ou em outros.

instalações locais para a realização de parcerias em pesquisas, bem como possibilitar melhorias na cadeia de produção do hidrogênio. As pesquisas desenvolvidas nesse laboratório visam tanto a viabilização da produção de hidrogênio quanto o desenvolvimento de máquinas que utilizem esse combustível (UFC, 2023a; UFC, 2023b).

A matriz elétrica do Estado do Ceará é predominantemente composta por fontes renováveis, com as fontes eólica e solar fotovoltaica (FV) representando conjuntamente 62,14% da capacidade instalada estadual (Figura 6). Atualmente, o estado possui 165 empreendimentos em plena operação, dos quais 100 são usinas eólicas, 35 são usinas solares fotovoltaicas e 30 são usinas termelétricas. A potência instalada total desses empreendimentos é de aproximadamente 5,5 GW. Dessa capacidade total, 3,4 GW são derivados de fontes eólicas e solares fotovoltaicas, enquanto os 2,1 GW restantes são provenientes de usinas termelétricas.

Quanto à regulação, em âmbito estadual, o Ceará publicou a Lei n.º 18.459, de 07 de setembro de 2023, que instituiu a política estadual do hidrogênio verde, sustentável e seus derivados e criou o Conselho de Governança e Desenvolvimento da Produção de Hidrogênio Verde; definiu conceitos, fundamentos, objetivo, focando no desenvolvimento, diversificação e ampliação da matriz energética e na redução de carbono (Ceará, 2023).

A Lei é focada no desenvolvimento econômico baseado na diversificação e ampliação da matriz energética e na redução da emissão de carbono no Estado do Ceará e traz algumas definições básicas sobre a temática do hidrogênio, conforme o art. 2.º, são elas:

- I – hidrogênio verde: hidrogênio gerado a partir da eletrólise da água, cuja produção se utiliza da energia elétrica gerada por fontes de energia renováveis, sem emissão de carbono no seu ciclo de produção;
- II – fontes de energia renováveis: fontes provenientes de recursos naturais e continuamente renovados que podem ser aproveitados para geração de energia, tais como solar, eólica, hídrica, oceânica, geotérmica e biomassa;
- III – cadeia produtiva do hidrogênio verde: empreendimentos e arranjos produtivos que prestam serviços, pesquisam, produzem, geram, industrializam, distribuem, transportam ou comercializam hidrogênio verde e produtos derivados do seu uso. (Ceará, 2023).

De forma mais ampla, existem diversas normas que concedem benefícios tributários que alcançam o hidrogênio verde, como os incentivos fiscais concedidos na produção de energia eólica.

O Brasil, desde a Emenda Constitucional n.º 33/2001, passou a conceder imunidade aos produtos destinados à exportação, conforme inciso I do § 2º do art. 149<sup>77</sup> da Constituição Federal. Esta imunidade nunca alcançara a energia elétrica, uma vez que esta era consumida no processo produtivo sem necessariamente se incorporar ao produto.

No entanto, com a tecnologia da eletrólise, a energia elétrica será efetivamente considerada um insumo na produção do hidrogênio verde, portanto será um produto sujeito à exportação com todos os benefícios fiscais que recaem sobre o H2v, incluindo sua imunidade para efeitos de exportação. Este fato reduz a arrecadação tributária do ICMS, uma vez que a energia elétrica, outrora tributada, agora possuirá uma forma de imunidade quando destinada à exportação.

Uma alternativa para preservar a arrecadação do ICMS na energia elétrica seria a comercialização de produtos produzidos no próprio solo cearense, como o aço verde e fabricação de fertilizantes a base de amônia, produtos que utilizam o H2v como insumo.

---

<sup>77</sup> Art. 149. Compete exclusivamente à União instituir contribuições sociais, de intervenção no domínio econômico e de interesse das categorias profissionais ou econômicas, como instrumento de sua atuação nas respectivas áreas, observado o disposto nos arts. 146, III, e 150, I e III, e sem prejuízo do previsto no art. 195, § 6º, relativamente às contribuições a que alude o dispositivo.

§ 2º As contribuições sociais e de intervenção no domínio econômico de que trata o caput deste artigo: I - não incidirão sobre as receitas decorrentes de exportação;

### 3 TRIBUTAÇÃO DO HIDROGÊNIO VERDE

A carga tributária brasileira no setor elétrico é significativa, especialmente quando é acrescentado os encargos, que no setor elétrico são variados e bastante onerosos. Essa onerosidade, em tese, seria transferida à cadeia produtiva do hidrogênio verde, uma vez que a energia elétrica é o principal insumo a ser consumido pelos eletrolisadores.

Quase metade do valor despendido pelo consumidor de energia elétrica são tributos e encargos, são eles:

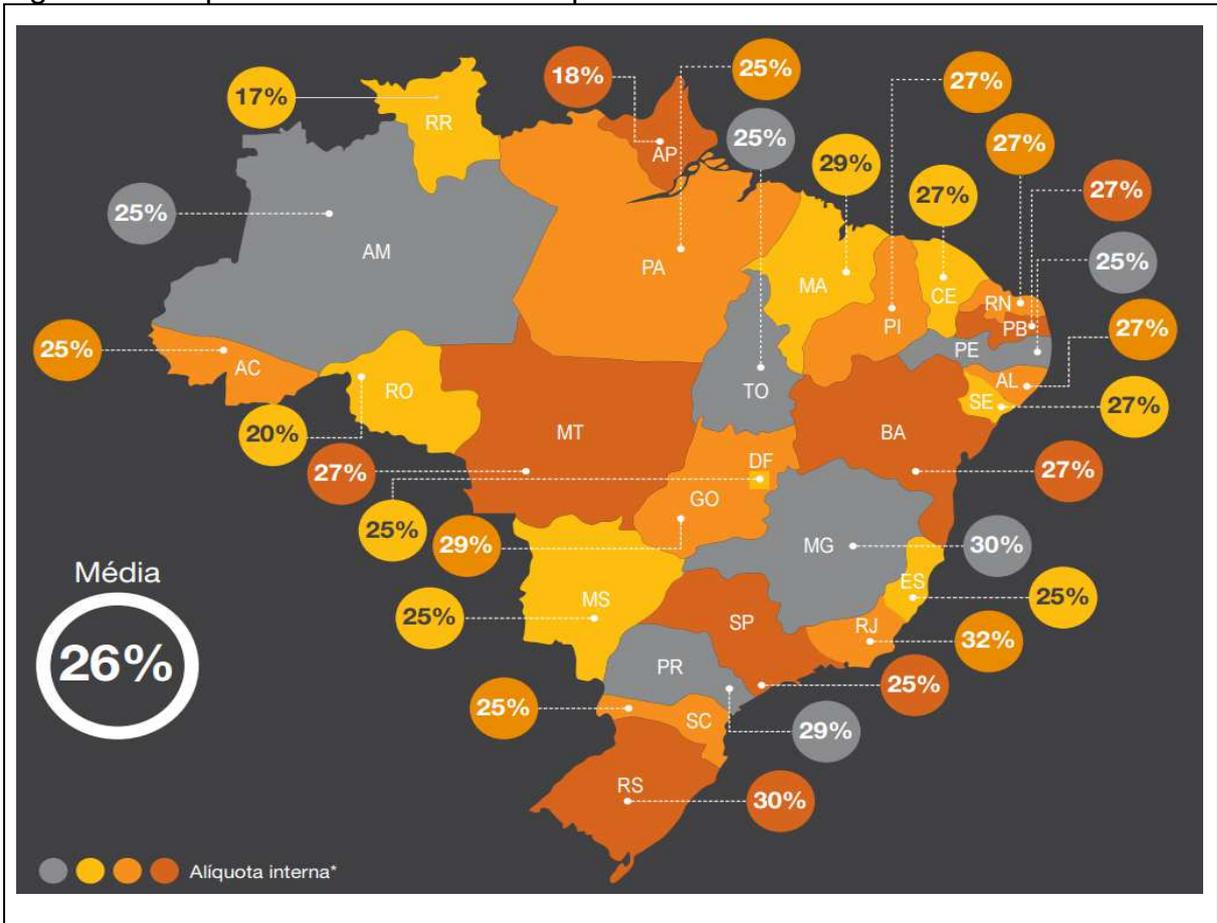
Quadro 3 – Tributos e encargos da energia elétrica

Tributos	Encargos
<ul style="list-style-type: none"> <li>* IRPJ – Imposto sobre a Renda das Pessoas Jurídicas</li> <li>* CSLL – Contribuição Social sobre o Lucro Líquido</li> <li>* ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços</li> <li>* ISS – Imposto sobre Serviços</li> <li>* PIS/Pasep – Programa de Integração Social e Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público</li> <li>* Cofins – Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social</li> <li>Encargos trabalhistas – INSS (contribuição ao INSS devida pelo empregador) e FGTS (Fundo de Garantia do Tempo de Serviço) e demais encargos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* CFURH – Compensação Financeira pela Utilização de Recursos Hídricos</li> <li>* CDE – Conta de Desenvolvimento Energético*</li> <li>* RGR – Reserva Global de Reversão</li> <li>* TFSEE – Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica</li> <li>* ESS – Encargos de Serviços do Sistema</li> <li>* ONS – Operador Nacional do Sistema</li> <li>* Proinfa – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica</li> <li>* P&amp;D – Pesquisa e Desenvolvimento</li> <li>* PEE – Programa de Eficiência Energética</li> <li>* EPE – Empresa de Pesquisa Energética</li> </ul>

Fonte: PWC (2022).

Dentre os tributos que incidem sobre a energia elétrica, o ICMS é o de maior peso. Trata-se de um imposto estadual sobre operações relativas à circulação de mercadorias e sobre prestações de serviços de transporte interestadual e intermunicipal e de comunicação, sendo a principal fonte de arrecadação dos estados. Por ser de fácil cobrança e fiscalização no setor elétrico, as alíquotas da maioria dos estados eram superiores quando comparadas aos demais produtos sujeitos à tributação, conforme figura 8.

Figura 8 – Alíquotas nominais do ICMS por estado



Fonte: PWC (2022).

Todavia a Lei Complementar n.º 194/22 inseriu o art. 32-A na Lei Complementar n.º. 87/96 (Lei Kandir), o qual definiu as operações com combustíveis, gás natural, energia elétrica, comunicações e transporte coletivo, para fins de incidência do ICMS, como bens e serviços essenciais, devendo os mesmos serem tributados à alíquota geral do imposto, vejamos:

Art. 32-A. As operações relativas aos combustíveis, ao gás natural, à energia elétrica, às comunicações e ao transporte coletivo, para fins de incidência de imposto de que trata esta Lei Complementar, são consideradas operações de bens e serviços essenciais e indispensáveis, que não podem ser tratados como supérfluos.

§ 1º Para efeito do disposto neste artigo:

I - é vedada a fixação de alíquotas sobre as operações referidas no caput deste artigo em patamar superior ao das operações em geral, considerada a essencialidade dos bens e serviços;

Atualmente as alíquotas do ICMS incidentes sobre a energia elétrica são as mesmas aplicadas aos demais produtos, o que se chama de alíquota modal.

A discussão sobre o ICMS na energia elétrica é essencial para o debate sobre o hidrogênio verde, uma vez que a energia é o principal insumo para a eletrólise

da água e conseqüente transformação das moléculas do H<sub>2</sub>O (água) em H<sub>2</sub> (hidrogênio).

Uma vez que as plantas de hidrogênio verde a serem instaladas no Brasil são destinadas à exportação, os produtos estarão salvaguardados do pagamento do ICMS, já que existe imunidade tributária em bens destinados à exportação, conforme o art. 155, § 2º, X, "a" da Constituição Federal:

Art. 155. Compete aos Estados e ao Distrito Federal instituir impostos sobre:

X - não incidirá:

a) sobre operações que destinem mercadorias para o exterior, nem sobre serviços prestados a destinatários no exterior, assegurada a manutenção e o aproveitamento do montante do imposto cobrado nas operações e prestações anteriores;

Sobre a imunidade tributária a mercadorias destinadas à exportação é necessário esclarecer que, via de regra, tais mercadorias são tributadas normalmente no mercado interno e, quando exportadas, a empresa exportadora recebe o crédito do ICMS das operações anteriores.

Esse mecanismo de crédito de exportação, fenômeno da não cumulatividade do imposto, não é respeitado em algumas unidades federativas, especialmente quando a empresa trabalha de modo intensivo com exportações. Isso porque essas empresas acumulam grandes quantidades de créditos de ICMS, mas não conseguem aproveitar tais créditos, sobretudo quando não trabalham também no mercado interno.

Talvez o ideal seria que essas empresas, quando não conseguissem aproveitar os créditos de ICMS, recebessem o valor correspondente em espécie. Ocorre que a União, ente federativo que concedeu a imunidade tributária para exportação, não destina os valores correspondentes para os Estados ressarcirem as empresas, impedindo assim a não cumulatividade do ICMS e exportando mercadorias com o imposto em sua composição de preço.

O Estado do Ceará avançou neste tema e foi o primeiro a garantir que o hidrogênio verde fabricado na Zona de Processamento de Exportação - ZPE (local onde se situa o complexo do Pecém) fosse completamente imune do ICMS quando destinado à exportação. Para isso adotou-se o que se chama de diferimento tributário, que é uma espécie de postergação do lançamento tributário e conseqüente pagamento do imposto.

Assim, o Decreto Estadual n.º 34.221, de 03 de setembro de 2021, criou a seguinte espécie de diferimento:

48.0 A entrada interestadual de energia, inclusive o imposto devido pela conexão e pelo uso dos sistemas de transmissão, em estabelecimento situado na Zona de Processamento de Exportação - ZPE, a ser utilizada no processo produtivo de Hidrogênio Verde.

48.1 Não será exigido o pagamento do ICMS diferido quando o diferimento encerrar-se por ocasião de saída das mercadorias em operação de exportação para o exterior, conforme inciso I do parágrafo único do art. 12 deste Decreto.

Fase importante do diferimento tributário é a de encerramento, quando efetivamente o contribuinte terá que pagar o imposto. No caso do hidrogênio verde destinado à exportação, o encerramento ocorre por ocasião da saída da mercadoria para o exterior e o item 48.1 não exige o pagamento do ICMS diferido quando da operação de exportação, desta feita o contribuinte não precisa recolher o imposto em nenhuma das fases, ou seja, ao invés de pagar o imposto e ficar com o crédito tributário, o diferimento concedido ao hidrogênio verde não exige o pagamento do valor do imposto.

Conta importante e necessária para compreendermos melhor os custos dos impostos é o índice LCOH, que é o Custo Nivelado do Hidrogênio Verde no Brasil desenvolvido pela Clean Energy Latin América - CELA. É utilizado para contabilizar todos os custos operacionais e capital para a produção do hidrogênio, considerando as fases *upstream*, somente o custo de produção de H2v.

Atualmente as projeções apontam que o valor para se produzir um quilo de hidrogênio verde está em torno de US\$ 2,80 a US\$ 3,50 (Fonte: CELA), a depender da localização dos projetos.

Considerando que a alíquota modal do ICMS no Ceará está em 20% e que o cálculo do imposto é feito “por dentro”, ou seja, inclui o valor do imposto na sua própria base de cálculo, e considerando o valor do quilo do hidrogênio verde em US\$ 3,00, o valor aproximado do imposto estadual a ser pago para cada quilo de hidrogênio verde vendido:

<p>Valor da mercadoria / (1-Aliq)</p> <p>Valor do ICMS do Hidrogênio Verde = US\$ 3,00 / (1-0,2) = 3,75</p>
---

Desse modo, o Estado do Ceará arrecadaria US\$ 0,75 para cada quilo do hidrogênio verde vendido em seu território.

De acordo com dados do governo do Ceará, o estado seria capaz de produzir cerca de 6 milhões de toneladas de hidrogênio verde por ano. Essa quantidade de combustível, caso fosse tributado, representaria um total de US\$ 4,5 bi de receita com o ICMS anualmente, ou cerca de R\$ 23,8 bi, valor superior a toda a receita de ICMS arrecadada no ano de 2023 (R\$ 17 bi), por exemplo.

Mas como ressaltamos, não haverá o destaque e pagamento do ICMS quando da exportação do H2v, portanto nenhuma arrecadação em termos do imposto estadual.

#### 4 ROYALTIES NO HIDROGÊNIO VERDE

A produção do hidrogênio verde possui um potencial de alavancar a economia dos estados produtores. Estima-se que até 2050, o mercado de H2V pode movimentar cerca de US\$ 1,4 trilhão anual. A Europa, o potencial maior consumidor do H2v pode conseguir limpar a sua matriz energética caso consiga estabelecer e manter um fluxo constante do hidrogênio aos seus territórios.

Pelo lado da oferta do hidrogênio, o Brasil deve estar atento à nova oportunidade de venda de *commodity*, mas sem esquecer da lógica a qual está inserido no mercado global, buscando agregar valor aos produtos aqui produzidos para promover o desenvolvimento econômico nacional.

Na verdade, a exportação de recursos naturais por países com fortes vantagens comparativas ainda rende debates na ciência econômica se provocam efeitos positivos ou negativos na economia desses países.

Para Belluzzo (2014, p. 9) a atualidade desta questão no debate sobre o desenvolvimento econômico deve-se à combinação de uma demanda crescente por matérias-primas e produtos agrícolas pelas economias emergentes, à escalada dos preços na última década e à conseqüente maior atratividade desses setores. Retornos acima da média têm atraído um fluxo crescente de investimentos em economias emergentes e em desenvolvimento, mobilizando tanto fatores domésticos quanto externos, que são escassos, e elevando o grau de especialização nos segmentos de recursos naturais em detrimento de outros setores da economia, especialmente da indústria de transformação e dos serviços avançados. Simultaneamente, do ponto de vista distributivo, há receios de que os benefícios do "boom" econômico não resultem em um desenvolvimento sustentável e inclusivo, mas, ao contrário, contribuam para a concentração de riqueza e renda nas mãos de um pequeno número de empresas e indivíduos.

Vários países tiveram experiências negativas quando da exploração de seus abundantes recursos naturais. Belluzzo (2014, p. 9) cita como exemplos Guiné Equatorial, Nigéria, Angola, Venezuela, que ficaram "*aprisionados a uma aparente maldição que se expressa por erros sistemáticos de política econômica, uma alocação de investimentos públicos de baixo retorno social e a incapacidade dos governos de gerir adequadamente os recursos*".

Neste sentido o Brasil poderia aproveitar a oportunidade de possuir vantagens naturais comparativas e não se tornar apenas um exportador de *commodities*, mas de criar projetos que incluam o uso do novo combustível em seu território, podendo agregar valor com produtos industrializados, mesmo que em níveis baixos de tecnologia, como é o caso do aço verde (aço produzido com a utilização do Hidrogênio verde).

O Brasil, e o poder público de modo geral, pode promover investimentos em energia renovável por meio de diversas fontes de financiamento, que podem ser exploradas, cada uma com características específicas que se adequam aos diferentes estágios e tipos de projetos. A seguir, são descritos alguns exemplos de fontes de financiamento:

- 1) Orçamento Público: alocação de recursos diretamente do orçamento governamental para programas e projetos de energia renovável é uma forma direta de financiamento. Esse tipo de financiamento pode incluir subsídios, incentivos fiscais e transferências diretas para investimentos em infraestrutura de energia renovável.
- 2) Bancos de Desenvolvimento: instituições financeiras públicas, como o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), podem oferecer linhas de crédito e financiamentos em condições favoráveis para projetos de energia renovável. Essas instituições financeiras governamentais têm o papel de mitigar o risco associado a investimentos de longo prazo e de alto capital inicial.
- 3) Fundos de Investimento Ambiental: são fundos criados especificamente para promover projetos sustentáveis, via de regra, de captação externa, como organismos internacionais. Eles oferecem capital de risco, financiamento direto e outras formas de suporte financeiro para iniciativas de energia renovável.
- 4) Parcerias Público-Privadas (PPPs): PPPs são arranjos onde o setor público se associa ao setor privado para desenvolver e financiar projetos de infraestrutura, incluindo energia renovável. Nessa modalidade de parceria, o parceiro privado é remunerado exclusivamente pelo governo ou numa combinação de tarifas cobradas dos usuários dos serviços, mais recursos públicos. Essas parcerias podem ser estruturadas de diferentes maneiras, como concessões, *joint ventures* ou contratos de

longo prazo, aproveitando a capacidade financeira e expertise técnica do setor privado.

- 5) Financiamento Internacional: organizações multilaterais, como o Banco Mundial, o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e a Agência Internacional de Energia (IEA), oferecem empréstimos e assistência técnica para projetos de energia renovável em países em desenvolvimento. Esses financiamentos frequentemente vêm acompanhados de condições específicas relacionadas a metas ambientais e sociais.
- 6) Certificados de Energia Renovável (RECs): em alguns países, os RECs são instrumentos negociáveis que representam a produção de energia renovável. O poder público pode apoiar o mercado de RECs através de programas de certificação, incentivos fiscais e compras diretas, estimulando o desenvolvimento de novos projetos.

Cada uma dessas fontes de financiamento possui vantagens e desafios específicos, e a combinação adequada delas pode maximizar o impacto dos investimentos públicos em energia renovável, promovendo a transição para um sistema energético mais sustentável e resiliente.

Quanto ao financiamento via orçamento público, a principal maneira que o Estado possui em captar recursos é a instituição de impostos, que, como vimos, não é possível quando se trata de produtos destinados à exportação. No entanto, apesar disso, o Brasil pode se utilizar de um mecanismo jurídico-tributário já existente nas *commodities* minerais exploradas em solo brasileiro, trata-se dos *royalties*.

#### **4.1 Origem dos *royalties***

*Royalties* são pagamentos feitos por uma parte (geralmente uma empresa) a outra parte (geralmente um proprietário intelectual ou de recursos naturais) pelo uso de um ativo intelectual, como patentes, direitos autorais, marcas registradas. São frequentemente determinados como uma porcentagem da receita bruta gerada pelo uso do ativo, embora também possam ser calculados com base em outras métricas, como produção ou unidades vendidas. Esses pagamentos são uma forma de compensar o proprietário pelo direito de explorar, produzir ou vender algo que está sob seu controle legal ou intelectual.

A palavra "royalty" tem origem no inglês "royal", que significa "real" ou "relativo ao rei". Inicialmente, referia-se ao direito que o rei tinha de receber pagamentos pelo uso de minerais em suas terras. Pode ser definido como um valor cobrado pelo proprietário de uma patente de produto, processo de produção, marca, entre outros, ou pelo autor de uma obra, para permitir seu uso ou comercialização.

Esse conceito foi ampliado no século XX para incluir outras atividades de extração de recursos naturais não renováveis, como petróleo e gás natural.

Aqui no Brasil o instituto jurídico dos *royalties* assumiu uma roupagem dirigida à exploração de recursos naturais, como petróleo, gás, minério de ferro, recursos vegetais, etc. Esse dinheiro é utilizado para financiar serviços públicos, infraestrutura e outras necessidades governamentais.

## 4.2 Legislação dos *royalties*

O primeiro diploma legal a tratar dos *royalties* foi a Lei do Imposto de Renda, Lei n.º 4.506/1964 (Campos; Paoli, 2016), que conceitua da seguinte forma:

Art. 22. Serão classificados como "*royalties*" os rendimentos de qualquer espécie decorrentes do uso, fruição, exploração de direitos, tais como:

- a) direito de colher ou extrair recursos vegetais, inclusive florestais;
- b) direito de pesquisar e extrair recursos minerais;
- c) uso ou exploração de invenções, processos e fórmulas de fabricação e de marcas de indústria e comércio;
- d) exploração de direitos autorais, salvo quando percebidos pelo autor ou criador do bem ou obra.

Embora a definição legal tenha ocorrido somente no ano de 1964, desde 1953 que indenizações são pagas devido à exploração de petróleo. Essas indenizações foram estabelecidas pela Lei 20.004/1953, que criou a Petrobras. Inicialmente, essas indenizações eram destinadas exclusivamente aos Estados (80%) e Municípios (20%), correspondendo a uma alíquota de 5% sobre o petróleo extraído de poços em terra (CNM, 2010, p. 8). Em 1969, quando foi descoberto petróleo em águas marítimas, o governo federal começou a cobrar *royalties* de 5% sobre esse tipo de produção, centralizando toda a receita para si.

Em 1997, com a aprovação da Lei 9.478, conhecida como Lei do Petróleo, o governo federal ampliou os *royalties* de 5% para 10%. Além disso, a base de cálculo foi modificada para utilizar os preços de mercado. A lei também introduziu uma

compensação adicional denominada Participação Especial do Petróleo, que é compartilhada com Estados e Municípios confrontantes.

No caso do petróleo, além dos *royalties* propriamente ditos, existe uma cobrança de participação especial do petróleo que é cobrada dos concessionários nos casos de grandes volumes de produção ou de grande rentabilidade, de acordo com o estabelecido no decreto presidencial 2.705/1998, mas, na prática, a maioria dos campos de petróleo do país é isenta de pagamento porque sua produção fica abaixo do mínimo estipulado para haver a cobrança (CNM, 2010, p. 18).

A Constituição brasileira, no artigo 20, estabelece que as jazidas de petróleo constituem bens da União, ao passo que Estados e Municípios têm o direito de participar dos lucros derivados dessa atividade, recebendo *royalties* e compensações. A regulamentação prática dessa distribuição é definida por duas leis ordinárias: a Lei nº 7.990, de 1989, e a Lei nº 9.478, de 1997.

A Lei nº 7.990/1989 estipula as regras de distribuição referentes à primeira parcela de 5% dos *royalties*. Por outro lado, a Lei nº 9.478/1997 aborda a distribuição da parcela excedente a esses 5% e a participação especial. As normas de repartição variam de acordo com a localização da produção, seja em terra ou mar.

Em termos percentuais, a União retém, em média, 39,4% das receitas provenientes de *royalties* e participações especiais, enquanto os Estados recebem 33,8% e os Municípios ficam com 26,8%. Os critérios para determinar o direito de um Estado ou Município ao recebimento de *royalties* são bastante complexos e têm sido sujeitos a modificações ao longo do tempo. Essas alterações e os detalhes das regras de distribuição serão abordados mais adiante (CNM, 2010, pag 20).

Atualmente a alíquota dos *royalties* do petróleo pode variar de de 5% a 15%, a depender do campo produtor, e o cálculo é feito segundo as regras estabelecidas pelo Decreto Federal n.º 2.705/1998 com a seguinte fórmula:

$$\text{Valor da produção} = (V \text{ petróleo} \times P \text{ petróleo}) + (V \text{ gn} \times P \text{ gn})$$

onde:

*Royalties* = valor decorrente da produção do campo no mês de apuração, em R\$;

Alíquota = percentual previsto no contrato de concessão do campo;

V petróleo = volume da produção de petróleo do campo no mês de apuração, em m<sup>3</sup>;

P petróleo = é o preço de referência do petróleo produzido no campo no mês de apuração, em R\$/m<sup>3</sup>;

$P_{gn}$  = preço de referência do gás natural produzido no campo no mês de apuração, em R\$/m<sup>3</sup>.

### 4.3 *Royalties* no hidrogênio verde

De certa forma a cobrança de *royalties* está muito associada à exploração de recursos naturais finitos, tais como petróleo, gás, florestas, etc. e poderia ser um paradoxo instituir um mecanismo de arrecadação estatal baseado na produção de hidrogênio verde, produto derivado de energia renovável.

No entanto, embora a produção de energia solar e eólica seja renovável, ela não é, de todo o modo, infinita, uma vez que existem impactos ambientais e sociais a serem considerados e a própria alocação das torres de geração de energia eólica, por exemplo, possuem sua localização em determinadas áreas selecionadas para melhor desempenho, portanto não infundáveis economicamente.

Além disso, os *royalties* também é um mecanismo para assegurar uma distribuição equitativa dos benefícios econômicos.

Embora a regulamentação específica para *royalties* de hidrogênio verde ainda não esteja estabelecida, é necessário que, à medida que o mercado amadureça, governos e entidades reguladoras desenvolvam novos modelos de compensação financeira. Um modelo propício a financiar cadeias do hidrogênio verde poderia ser os *royalties*, com o fim de assegurar que os benefícios econômicos da produção de hidrogênio verde sejam distribuídos de maneira equitativa e para incentivar o investimento contínuo na infraestrutura necessária para a produção e transporte do produto.

Além dos aspectos econômicos, a implementação de um regime de *royalties* para o hidrogênio verde deve levar em consideração fatores ambientais e sociais, promovendo uma transição justa e sustentável para uma economia de baixo carbono. Isso deve incluir incentivos para projetos que demonstrem impactos positivos significativos em termos de redução de emissões de carbono e desenvolvimento econômico local.

A discussão sobre modelos de compensação por meio de *royalties* no contexto do hidrogênio verde envolve uma série de considerações econômicas, ambientais e regulatórias. Os benefícios de se implantar tal instituto são descritos a seguir:

- Incentivar a inovação e o desenvolvimento tecnológico: *Royalties* podem ser direcionados para fundos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em tecnologias de hidrogênio.
- Garantir sustentabilidade ambiental: Parte dos recursos arrecadados pode ser destinada a projetos ambientais e à mitigação de impactos ecológicos.
- Distribuição equitativa dos benefícios econômicos: Garantir que as comunidades locais e regiões produtoras recebam uma parte justa dos lucros.

Quantos aos modelos de *royalties* para o hidrogênio verde, estes podem variar a depender de vários fatores, como a localização da produção, o tipo de tecnologia utilizada e as políticas governamentais, e poderiam ser cobrados das seguintes formas:

1. *Royalties* baseados na produção: cobrança de uma porcentagem sobre o volume de hidrogênio produzido. Esse modelo é similar ao utilizado na indústria de petróleo e gás.
2. *Royalties* baseados na receita: cobrança de uma porcentagem sobre a receita gerada pela venda de hidrogênio verde.
3. *Royalties* progressivos: porcentagens que aumentam com o aumento da produção ou da receita, incentivando eficiência e escalabilidade.
4. *Royalties* fixos: porcentagem fixa cobradas por unidade de produção (por exemplo, por quilo de hidrogênio produzido).

A criação de um regime de *royalties* para o hidrogênio verde requer uma abordagem regulatória abrangente, incluindo legislação específica, com a definição de leis e regulamentações claras que definam como os *royalties* serão calculados, coletados e distribuídos.

Em conclusão, enquanto os modelos de *royalties* para o hidrogênio verde ainda estão em estágio conceitual, sua potencial implementação poderia oferecer significativos benefícios econômicos, ambientais e sociais. O desenvolvimento de um quadro regulatório robusto e a colaboração entre diversas partes interessadas serão essenciais para o sucesso desses modelos.

Não obstante a defesa de uma imposição de *royalties* na tentativa de assegurar uma distribuição equitativa dos benefícios econômicos, um aspecto a ser considerado é o quantum uma tarifa poderia interferir na competitividade do H2v

produzido no país diante de um mercado externo que também vem investindo nessa nova energia. Ou seja, é necessário observar se há espaço para uma adição de mais um custo na produção.

Como já pontuado, a carga tributária brasileira no setor elétrico é significativa, especialmente quando são acrescentados os encargos, que no setor elétrico são variados e bastante onerosos. No entanto, essa carga tributária sofrerá quase que total nulidade quando a produção for destinada ao exterior, devido à imunidade tributária em bens destinados à exportação, conforme o art. 155, § 2º, X, “a” da Constituição Federal.

Neste sentido, a precificação do produto torna-se fator fundamental para compreender se há margem para a inserção de um custo advindo do setor público na composição do preço do hidrogênio verde a ser exportado.

A empresa de consultoria Clean Energy Latin America (Cela), publicou uma possível composição do custo do hidrogênio produzido no Brasil, considerando os seguintes fatores:

- Custos
- PPA e Conexões à rede
- Investimentos em usinas e autoprodução
- Custos de materiais e impostos
- Premissas técnicas
- Tipo de eletrolisador
- Período operacional
- Fator de utilização
- Degradação e restacking
- Capex
- Financiamento
- Impostos

A partir dessas premissas, a consultoria estabeleceu um índice que atualmente varia entre 2,87 e 3,56 dólares por quilo de hidrogênio verde produzido. Ressalta-se que o custo do hidrogênio cinza – que é produzido a partir da queima do gás natural –, está em torno de 2,93 dólares. A consultoria ainda afirma que o custo do H<sub>2</sub>v produzido no país poderia cair para a faixa de 1,69 a 1,86 dólar por quilo, a depender da política de incentivo nacional, o que tornaria o produto altamente competitivo e com possibilidades de se instituir os royalties (CELA, 2023).

Concluindo, embora a aplicação de royalties sobre a produção de hidrogênio verde (H2v) possa ser vista como uma estratégia para garantir a distribuição equitativa dos benefícios econômicos, é crucial considerar seu impacto na competitividade do produto no mercado internacional. O cenário tributário brasileiro, ainda que oneroso no setor elétrico, é aliviado para produtos destinados à exportação, o que pode abrir margem para essa nova tributação.

No entanto, a previsão dessa adição dependerá de fatores como incentivos governamentais, que podem reduzir significativamente o custo de produção do H2v, tornando-o mais competitivo frente ao hidrogênio cinza. Portanto, qualquer decisão sobre a imposição de royalties deve ser cuidadosamente calibrada para não comprometer a competitividade do hidrogênio.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como vimos, a demanda energética mundial vem aumentando juntamente com a crescente pressão da política externa pelo controle de emissões dos poluentes. Isso implica necessariamente em buscas por soluções compatíveis com o desenvolvimento sustentável.

O hidrogênio verde, produzido através da eletrólise da água, emerge como uma alternativa promissora para substituir os combustíveis fósseis, tais como carvão mineral, petróleo e gás natural. Uma de suas principais vantagens é a possibilidade de transporte de países com vantagens naturais para produzi-los a países importadores de energia.

A possibilidade de arrecadação de tributos através da venda do hidrogênio se torna remota à medida em que o produto seja destinado à exportação e não transacionado e/ou assimilado pela economia doméstica.

A instituição de *royalties* voltados à venda do hidrogênio, quando destinado à exportação, poderia transformar a natureza do Brasil de um grande Estado exportador de *commodities* de energia, para um verdadeiro transformador dos processos produtivos atuais à nova matriz de produção sustentável no mundo, com projetos que incluam o uso do hidrogênio em seu território, podendo agregar valor com produtos fabricados com maior eficiência energética e, portanto, com maior sustentabilidade ambiental.

Nestes termos, o governo possui um papel essencial de regulação do setor, incluindo a sustentação dos investimentos, ainda que públicos, é essencial para garantir o desenvolvimento sustentável e a competitividade desse setor emergente.

O estabelecimento de normas e padrões de produção, a promoção de incentivos econômicos e fiscais, a regulação e licenciamento ambiental dos projetos de H<sub>2</sub>v, a promoção de infraestrutura portuária voltada à exportação, o desenvolvimento e capacitação da população local, dentre outros, são funções que o estado pode e deve incentivar para garantir um ambiente favorável que estimule a inovação, atraia investimentos e assegure que o desenvolvimento do hidrogênio verde ocorra de maneira sustentável e segura.

Neste cenário, a instituição dos *royalties* é uma medida que pode ser considerada pelo governo brasileiro para captar parte da receita gerada pela produção e comercialização desse combustível, e pode ser uma ferramenta poderosa para

financiar o desenvolvimento sustentável do setor, desde que bem planejada e implementada de forma equilibrada.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Agência Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT IEC/TS 62282-1**: tecnologia de células a combustível, parte 1 – terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR ISO 14687-1**: combustível de hidrogênio, especificação do produto, parte 1 – todas as aplicações, exceto células a combustível de membrana de troca de prótons (PEM) para veículos rodoviários automotores. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

\_\_\_\_\_. **ABNT ISO/TR 15916**: considerações básicas para a segurança dos sistemas de hidrogênio. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/3bFWR6U>>.

ARMIJO, J.; PHILIBERT, C. Flexible production of green hydrogen and ammonia from variable solar and wind energy: Case study of Chile and Argentina. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 45, n. 3, p. 1541–1558.

BELLUZZO, Luiz G.; FRISCHTAK, Cláudio R.; LAPLANE, Mariano. (Orgs.). **Produção de Commodities e Desenvolvimento Econômico**. Campinas: UNICAMP. Instituto de Economia, 2014. 126p.

BRASIL. **Lei Nº 4.506, de 30 de novembro de 1964**. Dispõe sobre o imposto que recai sobre as rendas e proventos de qualquer natureza. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1964.

BRASIL. **Lei Nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989**. Institui, para os Estados, Distrito Federal e Municípios, compensação financeira pelo resultado da exploração de petróleo ou gás natural, de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica, de recursos minerais em seus respectivos territórios, plataforma continental, mar territorial ou zona econômica exclusiva, e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1989.

BRASIL. **Lei Nº 9.478, de 6 de agosto de 1997**. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1997.

CAMPOS, Marcelo; PAOLI, Carolina G. Regime fiscal dos royalties transferidos do Brasil ao exterior. **Revista Tributária e de Finanças Públicas**. Disponível em: <[https://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/documentacao\\_e\\_divulgacao/doc\\_biblioteca/bibli\\_servicos\\_produtos/bibli\\_boletim/bibli\\_bol\\_2006/RTFPub\\_n.131.07.PDF](https://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/documentacao_e_divulgacao/doc_biblioteca/bibli_servicos_produtos/bibli_boletim/bibli_bol_2006/RTFPub_n.131.07.PDF)>. Acesso em: 12 mai. 2024.

CEARÁ. **Lei nº 18.459, de 07 de setembro de 2023**. Institui política estadual do hidrogênio verde.

CEARÁ. Secretaria do Meio Ambiente e Mudança do Clima – SEMACE. **Com grande potencial em energias renováveis, o Ceará está se tornando a Casa do**

**Hidrogênio Verde.** Disponível em: <<https://www.semace.ce.gov.br/2024/01/03/com-grande-potencial-em-energias-renovaveis-o-ceara-esta-se-tornando-a-casa-do-hidrogenio-verde/>>. Acesso em: 15 fev. 2024.

**CELA. Custo Nivelado de Hidrogênio Verde no Brasil - Índice LCOH Brasil da CELA.** Clean Energy Latin America, ago. 2023.

**CENÁRIOS EÓLICA. Legislação e Tributos no Setor Eólico.** 2018. Disponível em: <<https://cenarioseolica.editorabrasilenergia.com.br/2018/12/04/legislacao-e-tributos-no-setor-eolico/>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

**NATIONAL HYDROGEN STRATEGY.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.dcceew.gov.au/sites/default/files/documents/australias-national-hydrogenstrategy.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2023.

**CIPP. Complexo do Pecém e White Martins assinam Memorando de Entendimento para implantação do HUB de Hidrogênio Verde no Ceará.** 2022. Disponível em: <<https://www.ceara.gov.br/2021/04/19/complexo-do-pecem-e-white-martins-assinam-memorando-de-entendimento-para-implantacao-do-hub-de-hidrogenio-verde-no-ceara/>>. Acesso em: 14 out. 2023.

**CNM - Confederação Nacional de Municípios – Estudos Técnicos CNM / Confederação Nacional de Municípios – Brasília: CNM, 2010.**

**DALCOMUNI, S. M. Sustentabilidade, Economia Verde e pagamento por Prestação de Serviços Ambientais (PSAs): O Projeto Produtores de Água no Espírito Santo.** In: CONGRESSO DA SOBER, 50., 2012, Vitória – ES. **Anais [...].** Vitória-ES: SOBER, 2012.

**ENERGIA LIMPA AMÉRICA LATINA (CELA). Composição do custo do hidrogênio verde produzido no Brasil.** <https://exame.com/esg/o-custo-do-hidrogenio-verde-no-brasil-o-mais-competitivo-do-mundo/>. Acessado em: 20/05/2024.

**ECMC. Australia’s National Hydrogen Strategy Review.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.dcceew.gov.au/energy/publications/australias-national-hydrogen-strategy>>. Acesso em: 31 fev. 2023.

**EPE. Bases para a consolidação da estratégia brasileira do hidrogênio.** 2021. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/Hidroge%CC%82nio\\_23Fev2021NT%20\(2\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/Hidroge%CC%82nio_23Fev2021NT%20(2).pdf)>.

**EPE. Hidrogênio cinza: Produção a partir da reforma a vapor do gás natural.** 2022. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-654/NT%20Hidrog%C3%AAnio%20Cinza.pdf>>.

EPE. **Plano decenal de expansão de energia 2031**. 2022. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2031>>.

EPE. **Produção e consumo de hidrogênio em refinarias no brasil**. 2022. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-667/NT-EPE-DPG-SDB-2022-01%20-%20Hidrog%C3%AAnio%20em%20Refinarias.pdf>>.

EPE. **Bases para a consolidação da estratégia brasileira do hidrogênio**. 2021. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/Hidroge%CC%82nio\\_23Fev2021NT%20\(2\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/Hidroge%CC%82nio_23Fev2021NT%20(2).pdf)>.

GASUNIE; ENERGINET. **Hydrogen Market Assessment Report for Denmark and Germany**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://en.energinet.dk/media/pjqnaedq/energinetgasunie-rapport-2023.pdf>>. Acesso em: 4 ago. 2023.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. **Global Wind Report**. Annual Market Update. Disponível em: <<https://gwec.net/global-wind-report-2019/>>. Acesso em: 3 mar. 2023.

GOBIERNO DE CHILE. **Estrategia Nacional De Hidrógeno Verde** - Chile, fuente energética para un planeta cero emisiones. Santiago de Chile: [s.n.]. Disponível em: <[https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia\\_nacional\\_de\\_hidrogeno\\_verde\\_-\\_chile.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-_chile.pdf)>. Acesso em: 18 ago. 2023.

HYDROGEN COUNCIL. **Hydrogen Insights 2023**: An update on the state of the global hydrogen economy, with a deep dive into North America. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2023/05/Hydrogen-Insights-2023.pdf>>. Acesso em: 24 mai. 2024.

IEA. **World total energy supply by source, 1971-2019**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-total-energy-supply-by-source-1971-2019>>. Acesso em: 9 abr. 2024.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **The future of hydrogen**. Paris: IEA, 2019.

IEA. **World Energy Outlook 2022**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>>. Acesso em: 12 mar. 2024.

IEA. **Carbon Capture, Utilisation and Storage**. 2023. Disponível em: <<https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage#how-does-ccus-work>>. Acesso em: 22 mai. 2023.

IEA. **Global hydrogen review 2023**. 2023. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>>. Acesso: 25 out. 2023.

- IRENA. **Global hydrogen trade to meet the 1.5°C climate goal: Part I – Trade outlook for 2050 and way forward.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA\\_Global\\_hydrogen\\_trade\\_part\\_1\\_2022\\_.pdf?rev=f70cfbdcf3d34b40bc256383f54dbe73](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Global_hydrogen_trade_part_1_2022_.pdf?rev=f70cfbdcf3d34b40bc256383f54dbe73)>. Acesso em: 8 abr. 2023.
- MCTIC. **Acordo de paris. 2017.** Disponível em: <[https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/arquivos/pdf/acordo\\_paris.pdf](https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/arquivos/pdf/acordo_paris.pdf)>.
- MME; GIZ. **Mapeamento do Setor de Hidrogênio Brasileiro: Panorama Atual e Potenciais para o Hidrogênio Verde.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://www.energypartnership.com.br/fileadmin/user\\_upload/brazil/media\\_elements/Mapeamento\\_H2\\_-\\_Diagramado\\_-\\_V2h.pdf](https://www.energypartnership.com.br/fileadmin/user_upload/brazil/media_elements/Mapeamento_H2_-_Diagramado_-_V2h.pdf)>. Acesso em: 22 mar. 2023.
- MME. **Diretrizes do programa nacional do hidrogênio.** 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/programa-nacional-do-hidrogenio-1>>.
- MME/EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029.** Brasília: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/Documents/PDE%202029.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2023.
- OLIVEIRA, R. C. **Panorama do Hidrogênio no Brasil.** Texto para Discussão, Brasília / Rio de Janeiro: IPEA, 2022.
- ONU. **Causas e Efeitos das Mudanças Climáticas.** 2023. Disponível em: <<https://www.un.org/pt/climatechange/science/causes-effects-climate-change#EffectOne>>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- PECÉM, C. do. **Complexo do Pecém.** 2023. Disponível em: <<https://www.complexodopecem.com.br>>. Acesso em: 13 out. 2023.
- PNH2 - Programa Nacional de Hidrogênio. **Propostas de diretrizes.** Brasília. 2021. Disponível em: <<HidrognioRelatriodiretrizes.pdf> >(www.gov.br). Acesso em: 12 jan. 2024.
- PWC. **Estudo sobre a carga de tributos e encargos do setor elétrico brasileiro Período-base: 2021. 2022.** Disponível em: <[https://www.pwc.com.br/pt/estudos/setores-atividades/energia/2022/Estudo\\_Acende\\_Brasil\\_22.pdf](https://www.pwc.com.br/pt/estudos/setores-atividades/energia/2022/Estudo_Acende_Brasil_22.pdf)>. Acesso em: 23 mai. 2024.
- ROLAND BERGER. **H2 Verde no Ceará: um ecossistema de oportunidades.** [s.l: s.n.].
- ROSA, L.; MAZZOTTI, M. Potential for hydrogen production from sustainable biomass with carbon capture and storage. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 157, p. 112123, abr. 2022. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2022.112123>>. Acesso em: 10 mai. 2024.
- SACRAMENTO, E. M. Do; DE LIMA, L. C.; CARVALHO, P. C. M. Estado da arte

da tecnologia em um sistema hidrogênio- solar-eólico. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR – CBENS, 1., 2007, Fortaleza. **Anais** [...] Fortaleza: ABENS, 2007.

UFC (a). **Laboratório de Hidrogênio e Máquinas Térmicas é inaugurado pela UFC em solenidade nesta sexta-feira (28)**. 2023. Disponível em: <[https://www.ufc.br/noticias/18011-laboratorio-de-hidrogenio-e-maquinas-termicas-e-inaugurado-pela-ufc-em-solenidade-nesta-sexta-feira-~:text=%2Dfeira%20\(28\)-,Laborat%C3%B3rio%20de%20Hidrog%C3%AAnio%20e%20M%C3%A1quinas%20T%C3%A9rmicas%20%C3%A9%20inaugurado%20pela%20UFC,nesta%20sexta%20Dfeira%20\(28\)&text=A%20Universidade%20Federal%20do%20Cear%C3%A1,energias%20renov%C3%A1veis%20e%20hidrog%C3%AAnio%20verde](https://www.ufc.br/noticias/18011-laboratorio-de-hidrogenio-e-maquinas-termicas-e-inaugurado-pela-ufc-em-solenidade-nesta-sexta-feira-~:text=%2Dfeira%20(28)-,Laborat%C3%B3rio%20de%20Hidrog%C3%AAnio%20e%20M%C3%A1quinas%20T%C3%A9rmicas%20%C3%A9%20inaugurado%20pela%20UFC,nesta%20sexta%20Dfeira%20(28)&text=A%20Universidade%20Federal%20do%20Cear%C3%A1,energias%20renov%C3%A1veis%20e%20hidrog%C3%AAnio%20verde)>. Acesso em: 16 dez. 2023.

UFC (b). **UFC anuncia investimento de mais de R500mil em laboratório que pesquisar Hidrogênio Verde**. 2023. Acesso em: 16 dez. 2023.