

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PRISCILLA DA CRUZ COSMO

NORMATIZAÇÃO E BASE LEGAL PARA CONSOLIDAÇÃO DO MERCADO
ENERGÉTICO DE HIDROGÊNIO

CURITIBA

2023

PRISCILLA DA CRUZ COSMO

NORMATIZAÇÃO E BASE LEGAL PARA CONSOLIDAÇÃO DO MERCADO
ENERGÉTICO DE HIDROGÊNIO

Artigo apresentado ao curso de Pós Graduação de
Direito Ambiental, do Setor de Ciências Agrárias
da Universidade do Paraná, como requisito parcial
à obtenção do grau de Especialista em Direito
Ambiental.

Orientador: Professor Osório Nascimento.

CURITIBA

2023

Normatização e Base Legal para Consolidação do Mercado Energético de Hidrogênio

Priscilla da Cruz Cosmo e Osório Nascimento

Resumo

Para viabilizar o alcance da meta de descarbonização da economia mundial, a qual considera um cenário de redução parcial em 50% até 2030 e uma economia de carbono neutro em 2050, a energia a partir do hidrogênio é vista como uma perspectiva de futuro, sendo o Brasil um dos principais países com potencial para liderar esse contexto. No entanto, como qualquer tecnologia inovadora e disruptiva, além dos desafios de viabilidade técnica e financeira, o arcabouço legal e regulatório apresenta diversos entraves no processo, como atualmente já é observado em virtude da ausência dos instrumentos necessários para viabilizar o desenvolvimento deste mercado. Nesse sentido, foi constatado que para tornar real a expansão da produção energética a partir desta fonte, além dos incentivos em pesquisas já existentes, é essencial investir em um arcabouço legal e regulatório concreto visando implementação dessa tecnologia, bem como fornecer capacitação aos responsáveis pela função de regular no país.

Abstract

Achieving the goal of decarbonizing the world economy, which considers a scenario of partial reduction of 50% until 2030 and a neutral carbon economy in 2050, hydrogen energy is a future perspective, with Brazil being one of the main countries with potential to lead in this context. However, like most of innovative and disruptive technology, in addition to the challenges of technical and financial viability, the legal and regulatory instruments present several obstacles to the process, as can be seen in the current legal deficiency that makes the development of this market viable. In this way, it was found that to make the objective of expanding energy production from this source a reality, in addition to incentives in existing research, it is essential to invest in a concrete legal and regulatory framework aimed at the implementation of this technology, as well as provide technical training to those responsible for the function of regulating in the country.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por minha vida e por me auxiliar a passar por todos os desafios para concluir esse curso.

À minha família, principalmente meu esposo que sempre me apoiou e segue me incentivando a me esforçar para atingir todos os meus objetivos profissionais e pessoais.

Um agradecimento especial à minha colega de mercado de trabalho Camilla Aciolly que me ajudou com a escolha de um tema de grande relevância e inovador, bem como pela disponibilização de materiais para dar início ao meu trabalho.

À Instituição pelo ambiente de aprendizado e crescimento que me proporcionou ao longo desse ano de curso.

Ao professor José Osório do Nascimento Neto, pelo rápido atendimento sempre que o acionei, orientação, apoio e confiança durante o desenvolvimento desse trabalho.

A todos que fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigado.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	OBJETIVOS	6
2.1	Geral.....	6
2.2	Específicos	7
3	REFERENCIAL TEÓRICO	7
3.1	Contexto Histórico Nacional e Internacional do Mercado Energético do Hidrogênio	7
3.2	Potencialidades para o Futuro do Mercado Energético do Hidrogênio	11
3.3	Arcabouço Regulatório Consolidado no Mercado Energético de Hidrogênio	14
4	DESAFIOS E DIFICULDADES PARA DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO NO BRASIL.....	19
5	POTENCIAIS NECESSIDADES REGULATÓRIAS E DE INCENTIVO PARA CONSOLIDAÇÃO DO MERCADO DO HIDROGÊNIO.....	21
6	CONCLUSÕES	22
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

1 INTRODUÇÃO

A temática do Hidrogênio Verde está sendo discutida no Brasil desde a década de 1995, sendo um dos primeiros a implementação do Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio (CENEH), em 1998. Durante esse período ocorreram oscilações nos incentivos e pesquisas na área de energia baseada no Hidrogênio, com uma desaceleração após os anos 2010, em virtude da alteração de prioridades da matriz energética brasileira com a descoberta do petróleo na camada pré-sal. A retomada do assunto ocorreu com a criação da Associação Brasileira do Hidrogênio (ABH2) em 2017, sendo incluído como uma tecnologia disruptiva e renovável sendo essencial para descarbonização da matriz energética brasileira como indicado no Plano Nacional Energético para 2050.

Considerando a perspectiva de futuro com vistas à sustentabilidade e uma preocupação com foco socioambiental, a descarbonização da economia mundial é um dos principais pilares presentes no Acordo de Paris, que consiste dentre as principais alternativas para redução dos gases de efeito estufa e consequentemente, frear as mudanças climáticas. A matriz energética baseada no hidrogênio é um caminho estratégico, em que o Brasil apresenta diversas potencialidades a partir dos recursos existentes.

No entanto, é sabido que para tecnologias disruptivas e inovadoras como é o caso do hidrogênio, além dos desafios tecnológicos e de custos já evidentes para esse mercado, potenciais entraves estão relacionados ao arcabouço legal e regulatório fator que pode ser uma dificuldade relevante, principalmente no sentido da implementação dos projetos para produção de energia baseada nessa matriz.

Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar os desafios e potencialidades para a regulamentação visando a consolidação do mercado energético de Hidrogênio.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar desafios e potencialidades para a regulamentação visando a consolidação do mercado energético de Hidrogênio.

2.2 Específicos

- Avaliar o contexto histórico do hidrogênio verde internacional e brasileiro;
- Avaliar o arcabouço regulatório existente para o mercado energético de hidrogênio;
- Identificar desafios e dificuldades para implementação de projetos de produção de hidrogênio;
- Identificar necessidades regulatórias e de incentivo para promoção da consolidação do mercado energético do hidrogênio.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Contexto Histórico Nacional e Internacional do Mercado Energético do Hidrogênio

No contexto atual de descarbonização da economia mundial, necessária em virtude da situação evidente de mudanças climáticas, a energia a partir do hidrogênio é vista como uma perspectiva de futuro, e em muitos países já é pontuado como a matriz energética principal das próximas décadas.

O hidrogênio está dentre os compostos mais abundantes existentes no planeta terra e representa uma fonte renovável de energia, cuja emissão do processo de uso desse combustível é apenas o vapor d'água. Já existem processos que viabilizam o uso do hidrogênio como fonte de energia, no entanto, muitos desafios precisam ser vencidos, como as formas de armazenamento e transporte de uma substância altamente inflamável.

Essa temática está sendo discutida no Brasil desde a década de 1995, sendo um dos primeiros países a implementar o Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio (CENEH), em 1998. Durante esse período ocorreram oscilações nos incentivos e pesquisas na área de energia baseada no Hidrogênio, com uma desaceleração após os anos 2010, em virtude da alteração de prioridades da matriz energética brasileira com a descoberta do petróleo na camada pré-sal (EPE, 2021). A retomada do assunto ocorreu com a criação da Associação Brasileira do Hidrogênio (ABH2) em 2017, sendo incluído como uma tecnologia disruptiva e renovável sendo essencial para descarbonização da matriz energética brasileira como indicado no Plano Nacional Energético para 2050 (MME, 2021).

Considerando a perspectiva de futuro com vistas à sustentabilidade e uma preocupação com foco socioambiental, a descarbonização da economia mundial até 2050 é um dos principais pilares presentes no Acordo de Paris, que consiste dentre as principais alternativas para redução dos gases de efeito estufa e consequentemente, frear as mudanças climáticas. A matriz energética baseada no hidrogênio é um caminho estratégico, em que o Brasil apresenta diversas potencialidades a partir dos recursos existentes (IPEA, 2022).

Durante o ano de 2021, o Brasil esteve como um dos líderes nas discussões realizadas com as Nações Unidas relativas aos pactos de energia que visam o cumprimento do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7 que descreve sobre o acesso universal às energias limpas. Com relação ao pacto para o hidrogênio foi indicado como objetivo:

“fomentar o desenvolvimento da indústria e mercado do hidrogênio no País por meio de consolidação de uma base de conhecimento sobre esse vetor energético no Brasil, com base em três pilares: i) políticas de pesquisa, desenvolvimento e inovação; ii) capacitação e treinamento; e iii) criação de uma plataforma para consolidação e disseminação de informações sobre hidrogênio no País” (MME, 2021).

O hidrogênio é capaz de armazenar e fornecer grandes quantidades de energia, podendo ser produzidos por diversas fontes, dentre estas ligado a uma outra unidade de produção de energia elétrica pelo processo de eletrólise ou a partir do uso de outros combustíveis como gás natural e carvão mineral. Atualmente as principais aplicações estão relacionadas com produção de amônia, metanol e em refinarias, siderurgias e indústrias de produção de alimentos (IPEA, 2022).

As rotas mais difundidas da produção de energia a partir do hidrogênio consistem na reformação e a eletrólise. A reformação é um processo que ocorre por meio da aplicação de altas temperaturas, em que o vapor reage com um combustível formado por hidrocarboneto, como gás natural, diesel, carvão, dentre outros (IPEA, 2022). Por outro lado, a eletrólise é executada a partir de um eletrolisador, que aplica corrente elétrica para separar a água em hidrogênio e oxigênio, podendo ser executado por três processos, sendo denominados eletrólise alcalina, membrana polimérica trocadora de prótons (proton exchange membrane – PEM) e células de eletrólise de óxido sólido (SOECs). Após gerado o hidrogênio pode ser

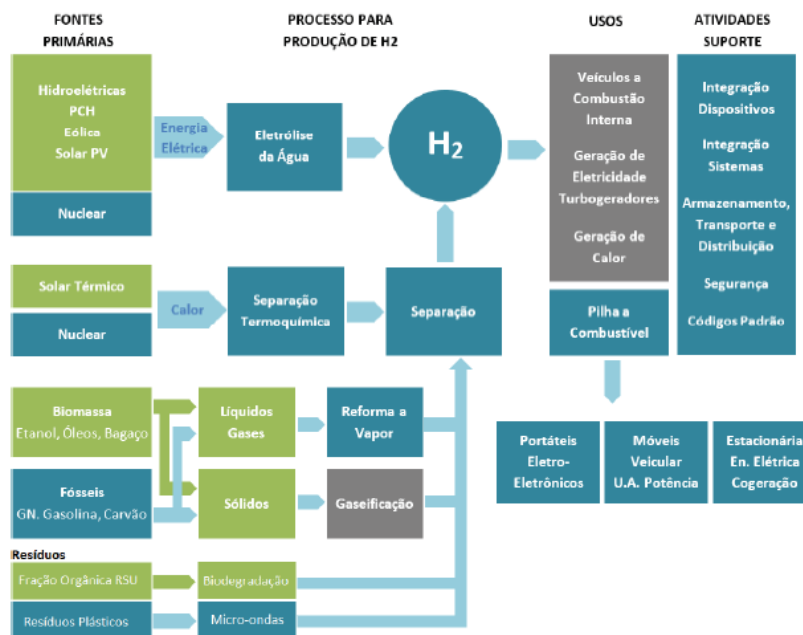
armazenamento através do processo de compressão ou liquefação do gás (EPE, 2021).

A via de geração de hidrogênio a partir da biomassa, que envolve processos termoquímicos e bioquímicos, também é uma alternativa, embora de custo mais elevado quando comparado à eletrólise. Dentre tais processos cabe destacar gaseificação, reforma ou métodos biológicos (EPE, 2021).

Cabe destacar que ainda existem as rotas de hidrogênio a partir da extração de recursos naturais originadas pelos processos naturais radiólise da água, a serpentinização e a oxidação do minério de ferro. Embora bastante difundida na literatura, essa metodologia ainda não é representativa no mercado (EPE, 2021).

A Figura 1 a seguir apresenta as principais rotas tecnológicas identificadas atualmente para geração e utilização desse combustível.

Figura 1 - Rotas tecnológicas mapeadas para geração e utilização do hidrogênio



Fonte: MME, 2021.

A depender das rotas de produção descritas e as emissões associadas no processo, o hidrogênio produzido é caracterizado conforme a identificação de cores apresentada na Figura 2 a seguir.

Figura 2 - Classificação do Hidrogênio Produzido na Escala de Cores

Cor	Classificação	Descrição
	hidrogênio preto	produzido de carvão mineral (antracito) sem CCUS
	hidrogênio marrom	produzido de carvão mineral (hulha), sem CCUS
	hidrogênio cinza	produzido do gás natural sem CCUS
	hidrogênio azul	produzido a partir de gás natural (eventualmente, também a partir de outros combustíveis fósseis) com CCUS
	hidrogênio verde	produzido a partir de fontes renováveis (particularmente, energias eólica e solar) via eletrólise da água.
	hidrogênio branco	hidrogênio natural ou geológico
	hidrogênio turquesa	produzido por craqueamento térmico do metano, sem gerar CO ₂
	hidrogênio musgo	produzido de biomassa ou biocombustíveis, com ou sem CCUS, através de reformas catalíticas, gaseificação ou biodigestão

Fonte: EPE, 2021.

No contexto mundial, a Alemanha destaca-se como relevante importador de hidrogênio, e a Austrália e o Chile como importantes exportadores. Com relação à produção desse combustível, a China é o maior produtor atual, no entanto, quase em sua totalidade de origem fóssil, mas com um plano de transição em curso a partir de 2021 para uso de tecnologias limpas. Sobre o uso da eletrólise como uma alternativa mais sustentável, Europa e Austrália têm se destacado (IPEA, 2022). Com relação à Europa, é importante ressaltar que a energia com base no hidrogênio já é uma realidade na transição energética do país, sendo que até 2024 está planejada a inclusão de 6GW de energia por eletrólise, com previsão de aumento desse quantitativo para 40GW até 2030 (GIL, 2021).

Cada país até o momento estabeleceu prioridades conforme estratégias e interesses individuais. A Ásia demonstrou maior interesse no combustível líquido na forma de amônia para uso em transporte marítimo e rodoviário. Enquanto isso, o Japão busca estabelecer cadeias de suprimentos internacionais, e a Coreia do Sul se concentra em novas tecnologias, como veículos com célula de combustível. Em contrapartida, a Europa está voltada ao uso de hidrogênio para descarbonizar os setores da indústria e do transporte pesado e as Américas estão considerando a produção para consumo próprio e exportação (IPEA, 2022). A Figura 2 a seguir

apresenta uma visão geral dos objetivos dos principais países atuantes nos projetos de desenvolvimento de energia a partir do hidrogênio.

Tabela 1 - Estratégias internacionais na produção de energia a partir do hidrogênio.

Objetivos	União Europeia	Alemanha	Países Baixos	França	Espanha	Itália	Reino Unido	Noruega	Suíça	Ucrânia	Rússia	Japão	Coreia do Sul	China	Austrália	Califórnia	Marrocos	Chile
Redução das emissões	x	x	x	x	x		x	x	x			x		x		x	x	x
Diversificação da matriz energética	x	x			x					x		x		x				
Crescimento econômico	x	x	x	x				x				x	x	x	x	x	x	x
Desenvolvimento de tecnologia nacional	x	x	x	x			x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
Integração de fontes renováveis	x	x	x	x	x		x			x	x	x		x		x	x	x
Desenvolvimento de mercado exportador					x					x	x				x		x	x

Fonte: IPEA, 2022.

3.2 Potencialidades para o Futuro do Mercado Energético do Hidrogênio

O Brasil é indicado pelo Ministério de Minas e Energia como um dos países com diversas potencialidades na produção do hidrogênio em virtude das seguintes características: *i) potencial de recursos energéticos diversificados disponíveis (inclusive gás natural, principal insumo na produção de hidrogênio no mundo); ii) alta participação de fontes renováveis na matriz energética nacional; iii) infraestrutura de transporte de energia; iv) disponibilidade hídrica; v) base instalada de potencial consumo na indústria, para transportes, comércio/ serviços e residências, bem como seu potencial de expansão; vi) infraestrutura portuária e logística favorável para inserção global; vii) base de capacitação tecnológica e de recursos humanos já estabelecida e com considerável potencial de expansão; viii) disponibilidade de fundos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação – PD&I; e ix) condições diversas de financiamento para renováveis e projetos de hidrogênio* (MME, 2021).

Dessa forma, destaca-se o potencial para ser um grande exportador de hidrogênio de baixo carbono, principalmente em virtude das climáticas adequadas e favoráveis para geração de energia elétrica por fontes eólicas, solar e hídricas. Apesar disso, atualmente a produção está concentrada nos setores de refino e fertilizantes, em geral, utilizando processos com alta emissão de CO₂ (IPEA, 2022).

Com a redução de custos das energias renováveis, especialmente solar e eólica, geração de energia do hidrogênio a partir dos excedentes dessas fontes tem se tornado uma alternativa interessante. Esse processo origina o chamado hidrogênio verde por constituir de uma fonte sustentável sem geração de CO₂, sendo a sobra de energia direcionada à eletrólise (IPEA, 2022).

Nesse sentido, considerando o contexto de potencialidades de produção de energia no Brasil a partir de fontes renováveis, as regiões Norte e Nordeste tem se destacado em virtude da adequada localização geográfica para gerar elevada incidência de luz solar e ventos. Os principais estados que se destacam são Ceará, Rio Grande do Norte, Bahia, Pernambuco e Piauí (IPEA, 2022).

Atualmente no Brasil, existem um total de 23 processos licenciamento em curso no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), os quais somam 46,6 GW de potência instalada no ano de 2022. Dentre esses processos, os empreendimentos portuários com eólicas *offshore* são modelos preferidos para hidrogênio verde no Brasil, pois os clusters industriais costeiros podem aberturas para a construção de hubs de hidrogênio. Foi anunciado em 2020 o primeiro hub de hidrogênio verde do Brasil, localizado no Ceará. O projeto tem uma meta robusta de produzir 900 mil toneladas de hidrogênio verde por ano a partir de capacidade de eletrólise de 5 GW de energia (IPEA, 2022).

O Brasil está inserido no contexto global atual dos projetos e investimentos na área energética de hidrogênio verde. A Tabela 2 a seguir apresenta o levantamento dos projetos já confirmados no Brasil até o momento.

Tabela 2 - Projetos e investimentos confirmados no Brasil em hidrogênio verde.

País	Empresa	Valores previstos (US\$)	Local de Investimento
Austrália	Fortescue Future Industries	6 bilhões	Porto do Pecém, Ceará
Holanda	Transhydrogen Alliance	2 bilhões	Porto do Pecém, Ceará
Austrália	Enegix Energy	5,4 bilhões	Porto do Pecém, Ceará
França	Qair	6,95 bilhões	Porto do Pecém, Ceará
Portugal	EDP do Brasil	8 milhões	Porto do Pecém, Ceará
França	Engie	-	Porto do Pecém, Ceará
Espanha	Neoenergia	-	Porto do Pecém, Ceará
Alemanha	White Martins	-	Porto do Pecém, Ceará
Alemanha	Linde	-	Porto do Pecém, Ceará
França	TotalEnergies	-	Porto do Pecém, Ceará
Brasil	Eneva	-	Porto do Pecém, Ceará

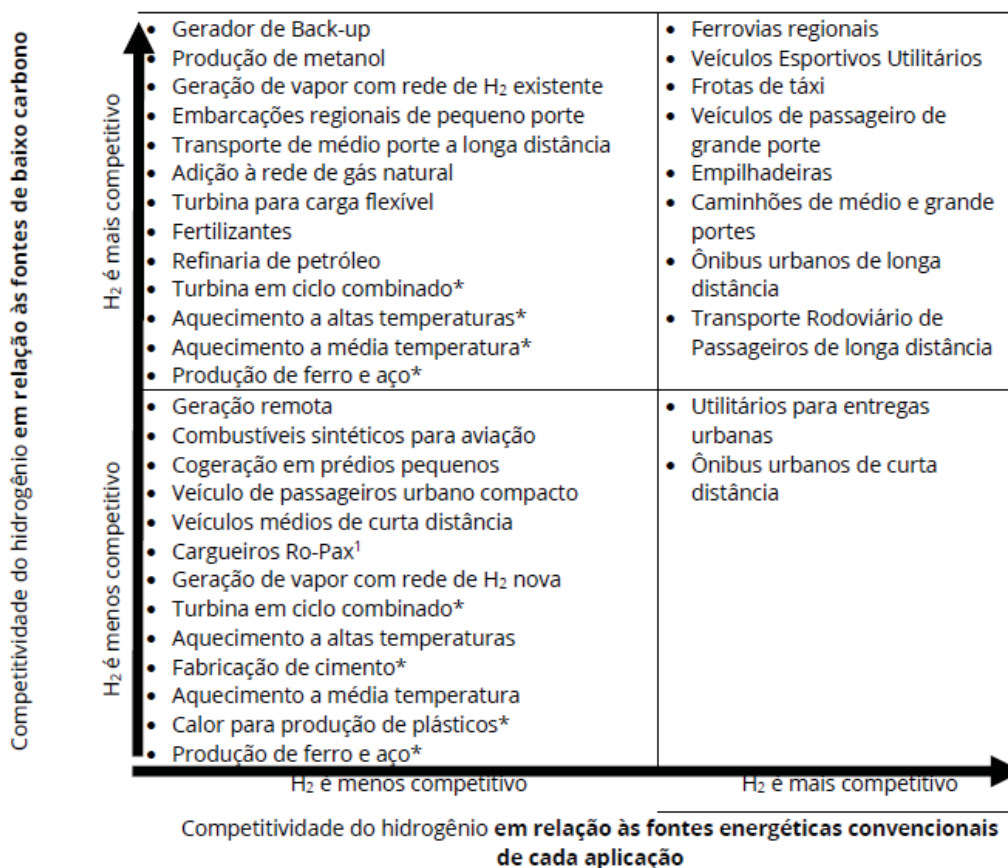
Brasil	Diferencial Energia	-	Porto do Pecém, Ceará
Alemanha	Hytron	-	Porto do Pecém, Ceará
Brasil	H2helium Energia	-	Porto do Pecém, Ceará
Brasil	Abreu e Lima (RNEST)	-	Porto de Suape, Pernambuco
Espanha	Neoenergia	-	Porto de Suape, Pernambuco
França	Qair	3,8 bilhões	Porto de Suape, Pernambuco
Reino Unido	Enterprize Energy	-	Rio Grande do Norte
Austrália	Fortescue	3,2 bilhões	Porto do Açu, Rio de Janeiro
Brasil	Casa dos Ventos e Nexway	4 bilhões	Piauí
Canadá	AmmPower	-	Espírito Santo
Alemanha	Agência Alemã de Cooperação Internacional (GIZ, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit)	39 milhões	Universidade Federal de Itajubá (Unifei), Minas Gerais
Brasil	Cummins New Power	33 milhões	São Paulo
Brasil	Unipar	19,4 milhões	Santo André, São Paulo
Alemanha	Siemens Energy	135,7 mil	-

Fonte: IPEA, 2022.

Além dos empreendimentos portuários, foram identificadas outras rotas nacionais visando a geração do hidrogênio de baixo carbono, como por exemplo para a produção de amônia verde no setor de fertilizantes, que merece destaque por ser uma iniciativa de considerável impacto na sustentabilidade do agronegócio nacional. Além disso, também se destaca a produção e uso de metanol em refinarias, sendo aplicável sua utilização como matéria-prima para a produção de minerais verdes, como o aço, e como combustível nos veículos pesados do setor de mineração (IPEA, 2022).

Com relação às potencialidades e competitividade de produção e uso do hidrogênio foi levantado pelo *Hydrogen Council*, que representa uma iniciativa global liderada por CEOs das empresas líderes na produção e disponibilização de energia a partir do hidrogênio, a escala de formas e produção e usos até 2030 (Figura 3).

Figura 3: Competitividade para geração e aplicação do hidrogênio até 2030.



* Se CCUS não estiver disponível para estas aplicações usando fontes fósseis, o hidrogênio é a única opção de descarbonização
 Fonte: Hydrogen Council, 2020.

3.3 Arcabouço Regulatório Consolidado no Mercado Energético de Hidrogênio

É sabido que para tecnologias disruptivas e inovadoras como é o caso do hidrogênio, dentre os potenciais entraves, um arcabouço legal e regulatório pode ser uma dificuldade, principalmente no sentido da implementação dos projetos para produção de energia baseada nessa matriz.

O estabelecimento de um arcabouço institucional, legal e regulatório adequado ao desenvolvimento de empreendimentos de energia a base de hidrogênio ainda é incipiente, sendo este um aspecto essencial para a segurança da indústria, consumidores, empreendedores e investidores desse ramo. Em virtude de ser um tema recente diversas dúvidas permanecem indefinidas, relacionadas aos seguintes fatores: 1) Governança institucional e legal; 2) Responsabilidade sobre regulamentação e fiscalização do mercado; 3) Aspectos normativos necessários para assegurar condições de segurança, certificação de processos, de recursos humanos e especificação do combustível; 4) Definição de rotas específicas de geração de

hidrogênio. Todas essas definições precisarão ser muito bem alinhadas nos próximos anos visando trazer segurança jurídica a nível global do tema.

É importante ressaltar que principalmente no contexto nacional, o Brasil já possui um sistema razoavelmente fundamentado, principalmente no que se trata de itens relativos à segurança e especificação do produto, conforme o levantamento apresentado pelo IPEA, 2022 apresentado a seguir:

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 m³/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.*

Seguindo essa mesma linha de evolução da temática, o Conselho Nacional de Política Energética publicou duas resoluções em 2021 que apresenta implicações positivas diretas para o desenvolvimento de empreendimentos à hidrogênio no País. A primeira, denominada Resolução CNPE nº 2 de 2021, *orienta a priorização da destinação de recursos de pesquisa, desenvolvimento e inovação regulados pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL e pela Agência Nacional de Petróleo Gás Natural e Biocombustível - ANP para o hidrogênio, entre outros temas*

relacionados ao setor de energia e à transição energética (CNPE, 2021). Enquanto a segunda, Resolução CNPE nº 6 de 2022, *trata de determinação para a proposição de diretrizes para o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH₂)* (CNPE, 2022).

A Resolução CNPE nº 2, de 10 de fevereiro de 2021, do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), orientou sobre iniciativas de PD&I no setor de energia do Brasil, priorizando a destinação dos recursos de pesquisa para os seguintes temas: i) hidrogênio; ii) energia nuclear; iii) biocombustíveis; iv) armazenamento de energia; v) tecnologias para a geração termelétrica sustentável; vi) transformação digital; e vii) minerais estratégicos para o setor energético (CNPE, 2021). Enquanto a Resolução CNPE nº 6, de 23 de junho de 2022, determinou a realização de estudo para a proposição de diretrizes para o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH₂), visando desenvolver e consolidar o mercado de hidrogênio no Brasil, sua inserção internacional economicamente competitiva e sua inclusão como um dos temas prioritários para investimento em PD&I (CNPE, 2022).

O PNH₂ é um programa instituído pelo governo federal que tem por objetivo orientar estrategicamente visando a consolidação do mercado de energia a base de hidrogênio no Brasil. Tais diretrizes estão estruturadas em seis eixos temáticos, que abrangem atuação nas seguintes áreas: fortalecimento das bases científico-tecnológicas, a capacitação de recursos humanos, o planejamento energético, o arcabouço legal e regulatório-normativo, a abertura e crescimento do mercado e competitividade, e a cooperação internacional (CNPE, 2022).

Figura 4: Eixos temáticos para desenvolvimento do PNH₂.



Fonte: MME, 2021.

No contexto de auxiliar a efetivação desse mercado, também foi publicado o Decreto nº 11.075, de 19 de maio de 2022, o qual *estabelece os procedimentos para*

a elaboração dos Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas, institui o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa e altera o Decreto nº 11.003, de 21 de março de 2022 (BRASIL, 2022a). Esse requisito legal criou o mercado regulado de carbono no Brasil, com foco em exportação de créditos, especialmente para países e empresas que precisam compensar emissões para cumprir com seus compromissos de neutralidade de carbono.

Além disso, tramita no congresso o Projeto de Lei (PL) nº 725/2022, que inclui o hidrogênio como fonte energética na matriz brasileira e define metas para distribuição nos gasodutos nacionais, estando previsto até 2032 o percentual mínimo de 5% de hidrogênio na rede de gasodutos, e 10% até 2050. Dentro desses percentuais, 60% deve ser hidrogênio sustentável – de fontes energéticas como solar, eólica, biomassas, biogás e hidráulica até 2032, com aumento de participação de 80% até 2050. Esse PL insere o hidrogênio na Lei no 9.478/1997, a Lei do Petróleo, e o combustível passaria a ser regulado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (BRASIL, 2022b).

A partir da avaliação desse PL cabe destacar que não são estabelecidos mecanismos para regulamentação da produção dessa fonte de energia, no entanto, consiste no primeiro passo para consolidação do mercado na matriz energética Brasileira. É importante observar que, embora seja um tema de relevância mundial e as alterações propostas pelo PL não são críticas para o arcabouço legal brasileiro, este foi publicado em março/22 ainda se encontra em tramitação no congresso sem aprovação concreta.

Cabe destacar também sobre o Projeto de Lei (PL) nº 1878/2022, o qual estabelece a criação da política que regula a produção e usos para fins energéticos do Hidrogênio Verde, e, por sua vez, complementa de forma relevante o PL nº 725/2022 (BRASIL, 2022c).

Um dos passos relevantes desse PL é o reconhecimento de empreendimentos para produção, armazenamento e transporte de energia a base de hidrogênio verde como utilidade pública e fundamentais para preservação ambiental, o que já reforça sua importância no contexto nacional. Além disso, a partir desse PL são estabelecidos os órgãos reguladores responsável pelo licenciamento de empreendimentos dessa tipologia, sendo a ANP entidade principal estabelecida para emissão da licença autorizando a atividade. Em conjunto com a definição da ANP na esfera regulatória, foi definido o IBAMA como órgão responsável pela parte ambiental,

sendo vinculada à emissão da licença pela ANP a emissão da Declaração de Interferência Prévia (“DIP”) pelo IBAMA, a qual não substitui demais processos normativos necessários da esfera ambiental. Adicionalmente, a Agência Nacional de Águas (ANA) é nomeada como responsável pelos aspectos vinculados à parte hídrica. Por fim, dentre os aspectos mais importantes desse PL cabe destacar a formalização de incentivos em P&D nessa temática pelos próximos 10 anos, fato este que auxiliará para impulsionar este mercado.

A partir desse contexto, verifica-se que os PLs são complementares e direcionam para a regulamentação de empreendimentos dessa tipologia para a esfera nacional, porém ainda não estão formalizados para utilização na prática. Além disso, consistem em passos importantes para a concretização e consolidação do, apesar de não solucionarem pois ainda existem arestas significativas a passíveis de definição como, por exemplo, todo o trâmite de licenciamento ambiental. Cabe destacar como pontos relevantes que a morosidade do processo impacta significativamente a iniciativa de formalização desse mercado no contexto nacional e requer maior atenção.

Em virtude do cenário de prazos extensos para formalização de regulamentações nacionais, o Ceará foi um estado que saiu na frente com a primeira resolução efetiva e que visa o licenciamento de empreendimentos de produção de energia a base de hidrogênio verde. Se trata da Resolução COEMA nº 3 de 10/02/2022, *que dispõe sobre os procedimentos, critérios e parâmetros aplicáveis ao licenciamento ambiental no âmbito da Superintendência Estadual do Meio Ambiente - Semace para empreendimentos de produção de hidrogênio verde no Estado do Ceará* (COEMA, 2022). Cabe destacar que essa resolução subsidiou a implantação e operação do primeiro empreendimento de produção energética a base de hidrogênio verde, resultado de investimentos em pesquisa e desenvolvimento de R\$ 42 milhões e contempla uma usina solar com capacidade de 3 MW e um módulo eletrolisador de última geração para produção do combustível com garantia de origem renovável, com capacidade de produzir 250 Nm³/h do gás (SEINFRA, 2023).

A partir desta resolução é indicado que empreendimentos dessa tipologia são passíveis de processo completo de licenciamento, passando por licença prévia, de instalação e de operação. Além disso, a depender da produção prevista para a planta permite aplicação de estudos mais simplificados como Relatório Ambiental Simplificado, o que pode facilitar e dar celeridade aos processos de licenciamento. Uma análise

importante que pode ser feita no âmbito nacional no momento de regulamentação da parte ambiental seria relativa à aplicabilidade de direcionar para todo empreendimento dessa tipologia estudos simplificados, uma vez que os benefícios ambientais são significativamente mais relevantes que os impactos.

Diante deste cenário é possível evidenciar que, embora mais estruturado que diversos países, os requisitos existentes relacionados ao arcabouço legal da temática são recentes, limitados e ainda não concretos em sua totalidade, necessitando de fato uma melhor estruturação e divulgação, principalmente em se tratando da temática licenciamento ambiental e regulatório. A morosidade do sistema jurídico brasileiro consiste em um grande entrave nesse sentido, uma vez que Projetos de Leis já foram apresentados a mais de um ano e ainda se encontram não formalizados na prática.

Apesar de não se caracterizar especificamente como vias regulatórias, mas representando incentivos importantes no desenvolvimento deste mercado, a Agência Internacional de Energia Renovável e o Fórum Econômico Mundial estão prevendo estratégias visando a implementação de certificações para produção de hidrogênio de baixo carbono (IPEA, 2022). Atualmente já existe um grupo de trabalho liderado pelo Brasil e com a participação de diversos países como Austrália, Canadá, Espanha, Estados Unidos, Holanda, Israel, Itália e Reino Unido, os quais estão com a meta de até 2024 consolidar diretrizes que subsidiarão essa certificação.

4 DESAFIOS E DIFICULDADES PARA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO NO BRASIL

A consolidação da produção de energia baseada no hidrogênio apresenta importantes desafios tecnológicos e de mercado, ao longo de toda a sua cadeia energética (produção, transporte, armazenamento e consumo), necessitando de uma estruturação para seu desenvolvimento. Por isso, estão sendo executados esforços em diversas partes do mundo, a partir do desenvolvimento de planos e políticas energéticas como foco no uso de hidrogênio como um dos elementos para acelerar a transição energética internacionalmente (MME, 2021).

Dentre os desafios elencados para a produção, além do contexto normativo voltado à segurança e a regulação de mercado, cabe destacar a competitividade com

outras fontes de produção de energia, principalmente em virtude dos elevados custos associados com os processos desenvolvidos até então (EPE, 2021).

O lapso de custo entre a produção de energia a partir do hidrogênio de combustíveis fósseis e quando comparado ao de baixo carbono é uma barreira que precisa ser vencida a partir de incentivos de políticas públicas. Conforme dados publicados pelo IPEA, 2022, a depender dos preços regionais do gás, o custo nivelado da produção de hidrogênio cinza (a partir do gás natural) varia de US\$ 0,5/kg a US\$ 1,7/kg. Além disso, no caso do hidrogênio azul (gás natural com uso de tecnologias de CCUS), o custo aumenta para cerca de US\$ 1/kg a US\$ 2/kg. E de forma ainda mais divergente, o uso de eletricidade renovável para produzir hidrogênio verde eleva para de US\$ 3/kg a US\$ 8/kg. No entanto, existe um universo de possibilidades para corte de custos de produção com o ganho da escala e inovação, o que poderia reduzir o valor do hidrogênio verde para US\$ 1,3/kg até 2030 em regiões com recursos renováveis abundantes (IPEA, 2022).

Cabe destacar que o desafio de se tornar viável a utilização de hidrogênio renovável requer esforços na definição de uma transmissão e distribuição com boa relação custo-benefício. Em termos de armazenamento e transporte, a longo prazo, uma rede de dutos poderá oferecer opções de distribuição mais eficientes em termos de custos, enquanto, a curto a médio prazo, a configuração mais competitiva envolve a localização da produção em locais de fácil acesso a regiões ricas em recursos para demandar a energia por meio de caminhões, trens, postos de abastecimento e usuários industriais menores. Complementarmente, distâncias maiores podem ser cobertas por transporte marítimo, em que hidrogênio precisa ser convertido para aumentar sua densidade (IPEA, 2022).

Ainda no setor de armazenamento e transporte, existem desafios ainda mais relevantes. O hidrogênio é uma substância química leve, que demanda para aumentar a densidade energética por volume elevadas pressões de forma a viabilizar o armazenamento no estado gasoso, ou criogenia para armazenamento no estado líquido. Tecnologias de armazenamento por adsorção requerem, atualmente, baixas temperaturas e elevadas pressões. Além disso, hidrogênio é um gás explosivo, o que afeta a percepção de risco (EPE, 2021).

Atualmente são elencadas as seguintes formas de armazenamento, mas ainda com grandes desafios para a larga escala (VARGAS *et al.*, 2006):

- Reservatórios de Gás Hidrogênio Comprimido;
- Reservatórios para Hidrogênio Líquido;
- Hidretos Metálicos;
- Adsorção de Carbono;
- Micro-esferas.

5 POTENCIAIS NECESSIDADES REGULATÓRIAS E DE INCENTIVO PARA CONSOLIDAÇÃO DO MERCADO DO HIDROGÊNIO

No contexto descrito para o mercado de energia a base de hidrogênio, é possível constatar que a sua consolidação demanda incentivos a nível nacional e internacional, tanto da iniciativa pública como da iniciativa privada. Adicionalmente, a segurança jurídica de processos de licenciamento ambiental e regulatório é um aspecto emergente e relevante para tais empreendimentos, uma vez que atualmente não existem regulatório concretos e objetivos este foco.

Sendo assim, para o setor jurídico, é essencial avaliar, complementar e reestabelecer o arcabouço legal para o licenciamento ambiental e regulatório, que inclua empreendimentos dessa tipologia, o que, até pela repentina e recente evolução dessa temática, é justificável ainda não ter sido desenvolvido. A construção e definição de elementos-chave desse processo como a esfera que serão tratados, termos de referência bem estabelecidos e uma equipe especializada designada para tratar da temática pode auxiliar no andamento mais rápido é um importante passo a ser dado visando incentivo ao nível nacional. Além disso, é de extrema importância preparar os técnicos e analistas dos órgãos destinados a tratar desse assunto, visando evitar entraves e problemas no decorrer dos processos de tamanha relevância do tema por desconhecimento ou insegurança.

Uma alternativa de incentivo relevante pode ser visualizada com base no que é realizado no setor de biocombustíveis, podendo ser prevista a precificação da energia a base de hidrogênio de forma semelhante ao aplicado na Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), sendo que produtores de biocombustíveis recebem incentivos por emitir créditos de descarbonização com base em requisitos estabelecidos de eficiência energética e ambiental (IPEA, 2022). Ao nível público, um exemplo semelhante de incentivos ambientais é o pagamento por serviços ambientais

a partir de alternativas como o ICMS ecológico, que consiste na variação de um imposto de arrecadação dos municípios a partir de indicadores ambientais definidos

Outra aplicação que pode ser viável consiste na alteração de denominação das formas de hidrogênio, direcionando uma distinção com base no teor de carbono envolvido na produção abrangendo, portanto, nos requisitos, fatores de qualidade ambiental. Sendo assim, possibilita a existência de diferenciação de preço de acordo com a origem de processo do hidrogênio gerado, como ocorre atualmente a precificação no mercado de energia elétrica (EPE, 2021).

Além disso, outras formas que podem ser aproveitadas e atualmente configuram incentivos nesse mercado, são os fundos de investimentos em pesquisas e desenvolvimento, em que diversos países, como a Alemanha, estão dispostos a financiar estudos em qualquer parte do mundo para consolidação desse mercado e da transição energética mundial. Com esse exemplo, a partir das verbas destinadas ao setor de energia seria interessante designar uma parcela para funcionar como subsídio na redução de impostos, bem como utilizar para estruturar desafios de desenvolvimento tecnológicos para startups e academia estudarem potenciais soluções aplicáveis às principais dificuldades da consolidação do mercado da energia a base de hidrogênio.

Um exemplo aplicável do contexto de investimentos consiste na promoção do mercado do hidrogênio verde impulsionado por investimentos no âmbito ESG, sendo uma filosofia de desenvolvimento baseada em boas práticas de governança ambiental, social e corporativa as quais fomentam o desenvolvimento sustentável. Essa oportunidade não está só na obtenção de aportes financeiros para a implantação de empreendimento dessa tipologia, mas também consiste em temas atrativos do mercado de ações, o qual atualmente apresenta forte relação com sustentabilidade. Sendo assim, empresas melhor avaliadas no contexto ambiental, principalmente que seguem boas práticas ESG, apresentam cenários favoráveis para obtenção de retornos financeiros de acordo com este novo conceito.

6 CONCLUSÕES

A geração de energia a partir do hidrogênio é uma realidade para a perspectiva de um futuro da economia de carbono neutro, principalmente em se tratando do cenário de muitos países que, ao contrário do que ocorre no Brasil,

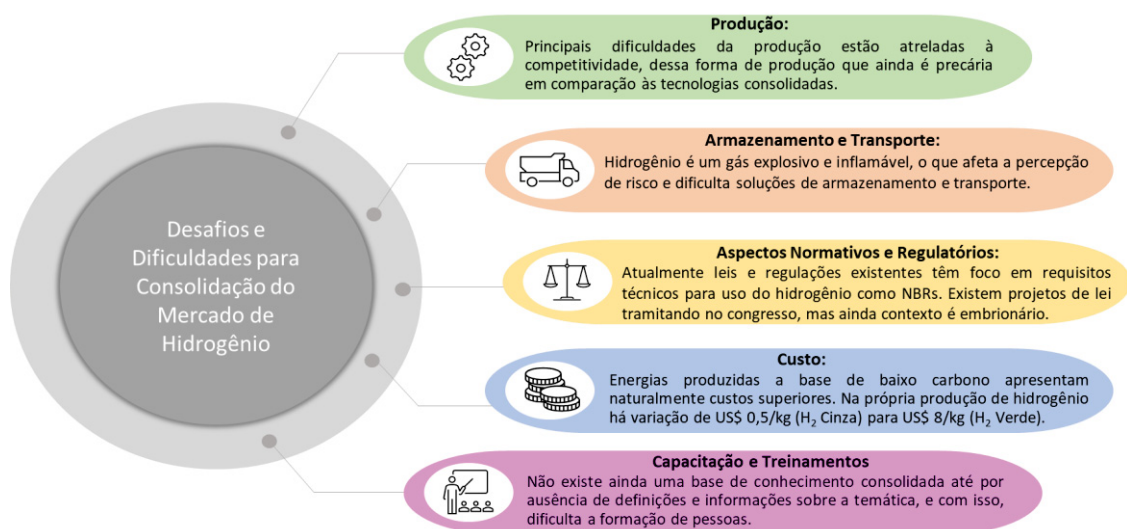
apresentam sua base energética em processos não renováveis. O Brasil por ser um país cuja base energética é de fontes renováveis apresenta um elevado potencial em liderar esse mercado de transição.

A partir do histórico geral, é possível observar que atualmente já existem tecnologias aplicáveis para a produção do hidrogênio verde com aplicação principalmente da eletrólise, no entanto, as questões relativas ao armazenamento e transporte ainda consistem em um desafio para consolidação dessa tecnologia.

Além disso, do ponto de vista normativo e regulatório muito se tem a atuar, principalmente sendo necessário dar foco em aprovar e aprimorar regulamentos concretos já levantados para licenciar e regular empreendimentos dessa tipologia, bem como orientar os profissionais responsáveis por autorizar a implantação no Brasil. Unindo isto às questões voltadas ao incentivo financeiro, como redução de encargos ou demais vias relacionadas, será possível estabelecer a base ainda incipiente e necessária para consolidação na matriz energética brasileira, e servir de modelo e liderança para expansão a nível mundial.

De forma geral, a Figura 5 resume todo esse contexto de dificuldades e desafios que necessitam ser ultrapassados para avanços relevantes nesse mercado. No entanto, cabe destacar que as potencialidades existem, principalmente no Brasil, o que torna emergente esforços no sentido de viabilizar a consolidação desse mercado.

Figura 5 - Rotas tecnológicas mapeadas para geração e utilização do hidrogênio



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL, 2022a. Presidência da República. **Decreto Nº 11.075, de 19 de Maio de 2022.** *Estabelece os procedimentos para a elaboração dos Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas, institui o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa e altera o Decreto nº 11.003, de 21 de março de 2022.* Brasília, DOU 19.5.2022 - Edição extra.

BRASIL, 2022b. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei (PL) nº 725/2022, de 28 de Março de 2022.** *Inclui o hidrogênio como fonte energética na matriz brasileira e define metas para distribuição nos gasodutos nacionais.*

BRASIL, 2022c. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei (PL) nº 1878/2022, de 04 de Julho de 2022.** *Cria a Política que regula a produção e usos para fins energéticos do Hidrogênio Verde.*

COEMA, 2022. Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução COEMA nº 3 de 10 de 02 de 2022.** *Dispõe sobre os procedimentos, critérios e parâmetros aplicáveis ao licenciamento ambiental no âmbito da Superintendência Estadual do Meio Ambiente - Semace para empreendimentos de produção de hidrogênio verde no Estado do Ceará.* Fortaleza, DOE 35.

CNPE, 2021. Conselho Nacional de Política Energética. **Resolução nº 2, de 10 de fevereiro de 2021.** *Estabelece orientações sobre pesquisa, desenvolvimento e inovação no setor de energia no País.* Brasília, DOU 45.

CNPE, 2022. Conselho Nacional de Política Energética. **Resolução nº 6, de 23 de junho de 2022.** *Institui o Programa Nacional do Hidrogênio, cria o Comitê Gestor do Programa Nacional do Hidrogênio, e dá outras providências.* Brasília, DOU 147.

EPE, 2021. Empresa de Pesquisa Energética. **Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio.** Nota Técnica Nº EPE-DEA-NT-003/2021. Brasília. 36 p.

GIL, L. 2021. **Política Energética no Contexto da União Europeia**. Ingenium, v. 172, p. 94-98.

HYDROGEN COUNCIL, 2020. **Path to hydrogen competitiveness - A cost perspective**. 78 p. Disponível em: https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2020/01/Path-to-Hydrogen-Competitiveness_Full-Study-1.pdf.

IPEA, 2022. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Panorama do Hidrogênio no Brasil**. Brasília. 61 p.

MME, 2021. Ministério de Minas e Energias do Brasil. **Programa Nacional do Hidrogênio (PNH₂): Propostas e Diretrizes**. Brasília. 24 p.

SEINFRA, 2023. Secretaria de Infraestrutura do Estado do Ceará. **Primeira molécula de Hidrogênio Verde produzida no Brasil é lançada no Ceará**. Disponível em: <https://www.seinfra.ce.gov.br/2023/01/19/primeira-molecula-de-hidrogenio-verde-produzida-no-brasil-e-lancada-no-ceara/>

VARGAS, R. A.; CHIBA, R.; FRANCO, E. G.; SEO, E. S. M. **Hidrogênio: O Vetor Energético do Futuro?** Anais do Congresso de Administração da Faculdade Alficastelo, v.1, p. 16-18. 2006. Alphavile, SP. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/13237>.