

**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia**

**O HIDROGÊNIO VERDE PARA GERAÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.**

**Autor(a): Natália Paula de Souza
Orientadora: Maria Vitória Duarte Ferrari**

**Brasília, DF
2022**



NATÁLIA PAULA DE SOUZA

O HIDROGÊNIO VERDE PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Vitória Duarte Ferrari

**Brasília, DF
2022**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Souza, Natália.

O hidrogênio verde para geração de energia elétrica no Brasil. /Natália Paula de Souza. Brasília: UnB, 2022. 103 p.: il.; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2022. Orientação: Maria Vitória Duarte Ferrari.

1. Economia Verde. 2. Fontes renováveis 3. Transição energética 4. Usina de eletrólise I. Ferrari, Maria Vitória Duarte.
II. O hidrogênio verde para geração de energia elétrica no Brasil.

CDU Classificação



O HIDROGÊNIO VERDE PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.

Natália Paula de Souza

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em (data da aprovação 21/09/2022) apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Profa. Dra.: Maria Vitória Duarte Ferrari, UnB/ FGA
Orientadora

Profa. Dra.: Josiane do Socorro Aguiar de Souza de Oliveira Campos, UnB/ FGA
Membro Convidado

Prof. Dr.: Rudi Henri van Els UnB/ FGA
Membro Convidado

Brasília, DF
2022

Demore o tempo que for para decidir o que
você quer da vida, e depois que decidir não
recue ante nenhum pretexto, porque o mundo
tentará te dissuadir. Friedrich Nietzsche

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por ter sido minha fortaleza durante esses anos de academia, por ter me dado a esperança de mesmos nos dias difíceis nunca ter deixado a luz do meu coração desistir. Após dedico aos meus pais Manoel Paulo e Damiana Ferreira, por terem sido minha base e terem me dado força e apoio para persistir durante os dias tortuosos e que sempre estiveram presentes em minhas pequenas conquistas.

Agradecer as minhas irmãs Jessica Paulo e Poliana Paula, por estarem sempre ao meu lado me segurando, apoiando e guiando durante essa árdua caminhada. Agradeço ao meu querido esposo, o Engenheiro Eletricista Josue Rocha que foi minha maior inspiração, poder acompanhar o seu crescimento dentro da academia e do setor eletroenergético, me deram forças para persistir. Além de suas sábias palavras que sempre foram ouvidas com muito carinho e que serviram de norte para continuar a caminhar, sempre me lembrando do meu potencial para vencer.

Agradeço a minha orientadora Maria Vitoria, que me deu a primeira oportunidade de construir meu nome por meio deste trabalho, que segurou minha mão e não largou em nenhum momento sequer, saiba que a senhora é luz e minha maior inspiração como profissional durante esses anos de universidade.

E por fim, agradeço aos meus queridos colegas que estiveram comigo durante esta caminhada e que juntos nos fortalecíamos dando esperança para sempre continuar, obrigada Danielle Lima, Rodrigo Evangelista, Breno Linhares, Vera Lucia, Lais Ramos e Karoany Maria.

Nossa maior fraqueza está em desistir. O caminho mais certo de vencer é tentar mais uma vez. Thomas Edison.

RESUMO

As projeções energéticas realizadas pelo Plano Nacional de Energia mostram um aumento da demanda energética no Brasil por volta de 3,2% ao ano. Esse aumento pode ocasionar uma série de implicações ambientais, e nesse contexto, destaca-se o aumento da emissão de gases de efeito estufa que contribuem para o aquecimento global. Na tentativa de suprir esta demanda energética, o Governo Federal busca a implementação de fontes energéticas renováveis e, ao mesmo tempo, que possam contribuir para a diminuição da emissão de gases efeito estufa. Nesse cenário a geração de energia à base de hidrogênio verde é uma oportunidade. Logo, este trabalho objetiva realizar um estudo exploratório acerca do potencial do uso do hidrogênio verde na geração de energia elétrica nas próximas décadas. Primeiramente foi realizado um levantamento de estudos e projeções acerca da produção de energia elétrica e demanda energética atuais e futuras. Posteriormente foram estudados alguns dos principais aspectos de seu uso, como produção, armazenamento e transporte. Em seguida foi realizado um organograma acerca da estrutura governamental, um levantamento histórico e perspectivas do H₂V e esquematizado os empreendimentos que possuem projetos com ênfase na geração de energia elétrica no Brasil. O presente estudo identificou as principais lacunas mapeadas pelos detentores de interesse no mercado do H₂V, como ausência de regulação, a necessidade de políticas e projetos que auxiliem no avanço e abertura de mercado. Conclui-se, que pode-se inferir que o H₂V, além de poder contribuir para o suprimento eletroenergético brasileiro, também pode contribuir para a criação de uma nova indústria e como consequência a geração de novos empregos e novos empreendimentos.

Palavras-chave: Economia verde, fontes renováveis, transição energética, usina de eletrólise.

ABSTRACT

The energy projections made by the National Energy Plan reveal an increase in energy demand in Brazil of around 3.2% per year. Such an increase can result in a series of environmental implications, and within this context, the rise in greenhouse gas emissions that lead to global warming stands out. In an attempt to supply this energy demand, the Federal Government is seeking to implement renewable energy sources and, at the same time, that can help reduce greenhouse gas emissions. In this scenario, green hydrogen-based electricity generation is an opportunity. Therefore, this paper aims to conduct an exploratory study on the potential use of green hydrogen to generate electricity in the coming decades. Initially, a survey was conducted of studies and projections about current and future electricity production and energy demand. Subsequently, some of the main aspects of its use were studied, such as production, storage, and transportation. Afterwards, an organizational chart about the governmental structure, a historical survey and perspectives of the GH₂ was made, and the enterprises that have projects with an emphasis on electricity generation in Brazil were schematized. This study has identified critical gaps mapped by stakeholders in the GH₂ market, such as the lack of regulation and the need for policies and projects to help advance and expand the market. In conclusion, we can infer that GH₂, in addition to the Brazilian electro-energetic supply contribution, can help create a new industry and generate new jobs and businesses.

Keywords: Green economy, Renewable sources, Energy transition, Electrolysis plant.

LISTA DE SIGLAS

ABH2 - Associação Brasileira do Hidrogênio.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica.

ANP - Agência de Petróleo Gás Natural e Biocombustível.

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CEISE – Centro Nacional das Indústrias do Setor Sucroenergético e Biocombustíveis

CENEH - Centro Nacional de referência em Energia do Hidrogênio.

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.

CMSE - Comitê de monitoramento do Setor Elétrico.

CNPE - Conselho Nacional de Política Energética.

COP - Conferência das Partes.

COVID 19 – Acrônimo para o termo em inglês (co)rona (vi)rus (d)isease identificado em 2019 – traduzido para o português como doença do coronavírus.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética.

GEE - Gases do efeito estufa.

H2V- Hidrogênio Verde

IEA - Agência Internacional de Energia.

INDC - intended Nationally Determined Contribution.

IRENA - Agência Internacional Para Energias Renováveis.

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.

MME - Ministério de Minas e Energia.

MDR - Ministério de Desenvolvimento Regional.

MoU – Memorandum of Understanding - traduzido para o português Memorando de Entendimento.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico.

PNE - Plano Nacional de Energia.

PNH2 - Programa Nacional do Hidrogênio.

ProH2 - Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação a Economia do Hidrogênio.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima.

SIN - Sistema Interligado Nacional.

UNFCCC- Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Matriz Energética Brasileira 2020.....	17
Figura 2. Processo de Obtenção do Hidrogênio.....	20
Figura 3. Processo de obtenção do hidrogênio por meio da Reforma a Vapor do Metano.	22
Figura 4. Processos para geração de energia com base na gaseificação.	23
Figura 5. Processo de Obtenção do Hidrogênio por eletrólise da água.	24
Figura 6. Classificação das rotas de produção do hidrogênio a partir de fontes renováveis.....	25
Figura 7. Primeiro Eletrolisador fabricado no Brasil pela empresa Hydron.	26
Figura 8. Organograma dos órgãos responsáveis pelo hidrogênio no Brasil.	30
Figura 9. Fluxograma dos principais marcos regulatórios sobre o hidrogênio no Brasil.	32
Figura 10. Proposta de Cadeia Produtiva do Hidrogênio verde.	40
Figura 11. Ciclo de vida do hidrogênio.	41
Figura 12. Esquema do sistema para instalação de produção de hidrogênio verde. .	42
Figura 13. Custo de produção do hidrogênio (USD/kg H ₂): produção de hidrogênio a partir de	43
Figura 14. Percentual de participação no setor do H ₂ V.	47
Figura 15. Gráfico a importância de políticas públicas sobre o hidrogênio verde.....	48
Figura 16. Gráfico a importância do PNH ₂ na indústria do hidrogênio verde.....	49
Figura 17. Gráfico sobre a regulamentação existente sobre cada setor da cadeia produtiva do hidrogênio verde.	50
Figura 18. Mapeamento das principais ações para o desenvolvimento do H ₂ V para fins energéticos.	51

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	16
RESUMO	18
ABSTRACT	19
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	21
SUMÁRIO	22
1 INTRODUÇÃO	10
1.1. OBJETIVOS	13
1.1.1. Objetivo Geral	13
1.2.1. Objetivos Específicos	13
2 MÉTODOS	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1. CARACTERIZAÇÃO DO QUADRO DE ENERGIA ELÉTRICA DE FONTES RENOVÁVEIS ATUAIS NO BRASIL	16
3.2. PANORAMA ATUAL DO USO DO HIDROGÊNIO COMO FONTE DE ENERGIA	18
3.3. ALTERNATIVAS PARA PRODUÇÃO DO HIDROGÊNIO	21
3.3.1. Reforma a Vapor	21
3.3.2. Gaseificação	22
3.3.3. Eletrólise	23
3.3.3.1. Eletrolisadores	26
4 O PANORAMA DO HIDROGÊNIO VERDE	27
4.1. AGENTES E INSTRUMENTOS NA GOVERNANÇA DO HIDROGÊNIO COMO FONTE PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	27
4.2. HISTÓRICO E PERSPECTIVAS DO HIDROGÊNIO VERDE NO BRASIL	30
4.2.1. Programa Nacional do Hidrogênio	33
4.3. PROJETOS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO E MEMORANDO DE ENTENDIMENTOS	34
4.4. PROJETOS EM UNIVERSIDADES	37
5 DESAFIOS PARA A CADEIA PRODUTIVA DO HIDROGÊNIO PARA FINS ENERGETICOS NO BRASIL	40
5.1. CICLO DE VIDA DO HIDROGÊNIO VERDE	40
5.2. DESAFIOS DO HIDROGÊNIO COMO FONTE DE ENERGIA NO BRASIL	42
5.2.1. Custos de Produção, Armazenamento e Transporte	43
5.3. DESAFIOS SOB A PÉSPECTIVA DOS ATORES DO MERCADO DO HIDROGENIO VERDE	44
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
7 BIBLIOGRAFIA	56
8 APÊNDICE	63

1 INTRODUÇÃO

Estudos realizados pelo Plano Nacional de Energia (EPE) demonstram que a projeção da demanda de energia elétrica é que haja um crescimento desta demanda de cerca de 3,2% a.a. até o ano de 2050. Contudo, no ano de 2020 verificou-se que a oferta interna de energia elétrica no Brasil, registrou um decréscimo de 2,2%, chegando em um consumo final de $254,6 \times 10^6$ tep quando comparado com o ano de 2019, sendo que o setor com o maior índice de consumo de energia no Brasil, no ano de 2020 foi o setor industrial com uma porcentagem de 63% (EPE, 2021).

Durante as últimas décadas o uso de fontes não renováveis que utilizam combustíveis fósseis derivados do petróleo teve um crescimento considerável, e ainda hoje, há uma porcentagem de 33,1% desses combustíveis na participação na matriz energética brasileira (EPE, 2020). A utilização de combustíveis fósseis traz impactos ambientais negativos, com a emissão de gases do efeito estufa e, conseqüentemente, o aquecimento global (IPCC, 2022).

No ano de 2020 foi registrado um total de 398,3 Mt de CO₂ emitidas para a atmosfera, proveniente do consumo das fontes de energia que compõem a matriz energética, sendo que os setores que mais contribuíram para esse valor foram o setor de transporte, com aproximadamente 179,8 Mt CO₂ eq e o setor de indústrias com 70,7 Mt CO₂ eq., conforme dados publicados pelo Balanço Energético Nacional (EPE, 2021). Segundo o Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima (SEEG) esse valor representa uma queda de 4,6% em relação ao ano de 2019, e esse decaimento está diretamente conectado ao cenário da crise sanitária do COVID-19 (SEEG, 2020).

O agravamento das mudanças climáticas fez com que o mundo começasse a propor soluções que levem à descarbonização do setor energético, visando a redução dos impactos ambientais negativos. A transição energética para uma matriz menos poluente é uma estratégia importante, consiste em realizar a mudança do uso de combustíveis fósseis provenientes de carvão e petróleo para o uso de fontes renováveis na geração de energia elétrica. Essa transição energética visa promover iniciativas que fortaleçam o uso das fontes energéticas renováveis, já que elas são mais limpas e minimizam os impactos ambientais negativos (GRANZIERA; REI, 2015).

A matriz elétrica brasileira é predominantemente hídrica, sendo que 65,2% da energia brasileira é proveniente de usinas hidráulicas (EPE, 2021). Mesmo sendo classificada como uma matriz predominantemente renovável, essa centralização acarreta o surgimento de algumas implicações ambientais, e sobre o consumidor cativo, como por exemplo, a inserção de bandeiras tarifárias, a bandeira utilizada para determinar a tarifa do consumo de energia elétrica desde dezembro de 2021, sendo classificada como bandeira vermelha patamar 2 o que indica a escassez hídrica (ANEEL, 2022). Isso significa que foram acionadas usinas termoelétricas, com fontes geradoras potencialmente poluentes e valor do kwh mais elevado (ANEEL, 2022).

É importante considerar alternativas capazes de auxiliar no aumento da oferta de energia, trabalhando em sinergia com estratégias internacionais, tais como a Agenda 2030 da ONU, e, nesse contexto, com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), especificamente os objetivos: ODS 7 “Provendo energia limpa e acessível”, ODS 9 “Indústria, inovação e infraestrutura”, ODS 12 “Consumo e produção responsável” e ODS 13 “Ação contra a mudança global do clima” (ONU,2015).

Além disso, é importante considerar também com as metas definidas pela Conferências das Partes 21 no Acordo de Paris, em que o Brasil comprometeu-se a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, até 2025 e prevê o aumento da participação de bioenergia sustentável na matriz energética brasileira para aproximadamente 18% até 2030 (MMA,2015).

Com o enfoque em mudanças climáticas, sua vigésima sexta edição (COP 26) foi realizada de 1 e 12 de novembro de 2021 na cidade Glasgow, na Escócia, que tem como finalidade o compromisso de reduzir as emissões que acarretam o aquecimento global (ONU,2021).

Enquanto a média global de utilização de fontes de energia renovável para geração de energia elétrica é de 18%, a participação de renováveis na oferta energética total brasileira é de 45% (EPE, 2021). Atualmente no Brasil as principais energias classificadas como fontes renováveis para geração de eletricidade são: energia solar, energia eólica, hídrica, do uso de biomassa, geotérmicas e, a partir ano 2005 após o protocolo de Kyoto que ficou em vigência até o ano de 2012, as obtidas do hidrogênio. Há diversas fontes para obtenção de hidrogênio, sendo as mais utilizadas o gás natural e da água, classificados em três tonalidades: cinza,

azul e verde. O hidrogênio azul é obtido por meio de combustíveis fósseis como o gás natural a altas temperaturas, ou metano ou até mesmo no Brasil o etanol. Durante a etapa de produção todos os gases emitidos são capturados e armazenados, com auxílio da tecnologia chamada de carbono capture and storage - CCS. Já o hidrogênio cinza é obtido de forma similar à produção do azul, todavia seu processo produtivo não faz a captação do gás carbônico emitido (SEEG Brasil, 2021).

O hidrogênio verde é obtido por meio da eletrólise da água, sendo um processo classificado renovável sem emissão de gases de CO₂ durante sua produção. A produção de hidrogênio verde pode ser considerada uma forma de descarbonização do setor energético, por ser classificado como uma fonte limpa, tendo zero emissão de gases do efeito estufa durante sua produção (SEEG Brasil, 2021).

Optou-se neste trabalho, por realizar uma pesquisa exploratória descritiva sobre o potencial do hidrogênio verde para a geração de energia elétrica no Brasil, tendo como estudos que indicam o hidrogênio como um vetor de descarbonização do setor para a maioria dos processos industriais, principalmente sendo utilizado para fins energéticos (OLIVEIRA, 2022). Todavia, o hidrogênio verde produzido no Brasil para consumo interno está mais voltado para o uso em forma de combustível para o setor de transporte, tendo em vista o alto percentual de fontes de energias renováveis na matriz elétrica e as recentes dificuldades do escoamento de energia elétrica proveniente de fontes eólicas, devido à falta de linhas de transmissão.

O trabalho está organizado em cinco capítulos, o primeiro capítulo descreve os métodos que foram utilizados para elaboração deste estudo, o segundo capítulo aborda a contextualização do tema que foi discutido, contendo a revisão bibliográfica do trabalho, que aborda o cenário atual das fontes renováveis no Brasil e do panorama atual do uso do hidrogênio para fins energético e as alternativas para a produção do hidrogênio no Brasil.

No quarto capítulo são identificados os agentes e instrumentos de governança para o uso do hidrogênio no Brasil, realiza um mapeamento dos projetos de P&D e MoU que utilizam hidrogênio verde no Brasil. Traz um levantamento dos principais marcos regulatórios e aborda os principais tópicos sobre o Programa Nacional do Hidrogênio.

O quinto capítulo do estudo traz um mapeamento destas dificuldades e uma análise sobre as principais dificuldades para a construção da cadeia produtiva do H₂V, demonstrando o ciclo de vida do hidrogênio verde. Por fim, identificaram-se as principais lacunas sobre o uso do hidrogênio verde para geração de energia elétrica mapeada pelos detentores de interesse sobre o mercado do H₂V, tendo colaborações dos setores de P&D, de comercialização de energia, de produtores de hidrogênio verde, produtores de tecnologia e órgãos governamentais.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Realizar um estudo exploratório descritivo com o objetivo de caracterizar o hidrogênio verde como uma possível fonte energética, que possa ser usada para geração de energia elétrica no Brasil.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Caracterizar o hidrogênio verde e os seus processos de obtenção e produção de energia;
- Identificar os agentes e suas responsabilidades na estrutura da governança da cadeia produtiva do hidrogênio para aplicação energética no Brasil e eventuais lacunas;
- Identificar o histórico e perspectiva do hidrogênio verde para uso energético no Brasil e eventuais lacunas;
- Mapear os projetos P&D em andamento no Brasil que tenha ênfase o hidrogênio verde, identificando qual o uso finalístico de cada projeto em especial os que possuem ênfase na geração de energia elétrica.
- Identificar as principais lacunas e/ou dificuldade que atuam sobre a utilização e abertura de mercado H₂V na geração de energia no Brasil nos dias atuais.

2 MÉTODOS

O estudo realizado neste trabalho apresenta um caráter exploratório e descritivo, baseado em revisões bibliográficas e documentais de artigos científicos, leis e normas técnicas, além de entrevistas com detentores de interesse dos setores P&D, produtores de hidrogênio verde, produtores de tecnologia, comercializadores de energia e órgãos governamentais atuantes sobre o setor de energia elétrica brasileiro. Para alcançar os objetivos propostos foram determinados alguns passos metodológicos.

Os passos metodológicos estão organizados em três etapas. A primeira etapa consistiu em um levantamento documental sobre o cenário atual do setor energético com ênfase na demanda e das alternativas energéticas renováveis em uso no Brasil, a fim de mapear as principais fontes energéticas renováveis que podem contribuir para o setor, pois elas darão suporte energético para a produção do hidrogênio verde. Esta etapa também teve como finalidade apresentação o uso do hidrogênio para fins energéticos no Brasil, ou seja, o uso do hidrogênio para produzir energia elétrica, identificando as tecnologias existentes para a produção de energia proveniente do hidrogênio. Também apresentou se o cenário atual do uso do hidrogênio no Brasil e a identificação das barreiras e lacunas para consolidação de sua cadeia produtiva.

A segunda etapa teve como objetivo a identificação dos atores governamentais e de suas contribuições para a regulamentação do uso do hidrogênio verde no Brasil para fins de geração de energia elétrica. Também foi realizado um levantamento histórico sobre as ações realizadas pelo governo com a finalidade de subsidiar o desenvolvimento deste mercado e o mapeamento dos projetos de P&D, MoU e de universidades que tenham como ênfase o estudo do uso do hidrogênio verde. Além disto, identificar o ciclo de vida do hidrogênio verde e a estrutura inicial da cadeia produtiva do hidrogênio verde no Brasil.

A terceira etapa consistiu em realizar uma pesquisa pública, com a colaboração de agentes do setor elétrico brasileiro, estes participantes foram selecionados por meio da participação nos eventos como o Workshop Iniciativa de Mercado Minas e Energia, Workshop Diálogo 8: Hidrogênio para Transição Energética – Rotas de produção, tecnologias e os diferentes cenários no Brasil e o Workshop GT CCEE H2. No qual foi feito o convite aos participantes que respondessem a pesquisa por meio do preenchimento do questionário, que pode ser

encontrado no Anexo A.O questionário teve como objetivo identificar as principais lacunas que atuam sobre a possível utilização do hidrogênio verde para geração de energia elétrica.

As respostas levadas em consideração nesta análise foram as obtida por órgãos governamentais do setor elétrico e pelos empreendimentos que atuem geração, produção, comercialização do hidrogênio verde ou que possuam projetos na área de pesquisa e desenvolvimento e/ou produtores de eletrolisadores.

As três etapas que compõem os procedimentos metodológicos, podem ser observadas no Quadro 1, que apresenta os objetivos, produtos e métodos aplicados para cada uma das etapas.

Quadro 1.Procedimento Metodológicos.

Etapa	Capítulo	Objetivos	Métodos	Produtos	
1	3	Caracterizar o hidrogênio verde e os seus processos de obtenção e produção de energia	Mapear as fontes energéticas renováveis no Brasil com auxílio dos dados disponibilizados pela EPE.	Levantamento documental	Caracterização do quadro energético atual do Brasil e do hidrogênio verde. Identificação do processo produtivo para produção de energia elétrica proveniente do uso do H ₂ V.
			Identificar as tecnologias existentes que auxiliam a produção do Hidrogênio Verde	Levantamento documental	
2	4	Identificar os agentes e suas responsabilidades na estrutura da governança da cadeia produtiva do hidrogênio para aplicação energética no Brasil e eventuais lacunas;	Levantar informações e estudos que auxiliasse na identificação dos agentes do setor público que são ou que serão responsáveis pelo mercado no H ₂ V no Brasil.	Levantamento documental	Identificação por meio de um organograma com agentes governamentais responsáveis pelo setor do hidrogênio verde no Brasil. Mapeamento dos atores que influenciam na composição e na construção da cadeia produtiva do H ₂ V.
2	4	Identificar o histórico e perspectiva do hidrogênio verde para uso energético no Brasil e eventuais lacunas;	Mapear lei, normas ou diretrizes existentes que foram elaboradas por estes órgãos governamentais.	Levantamento documental de leis e normas técnicas.	Identificação das leis, normas técnicas e diretrizes sobre o desenvolvimento do uso do hidrogênio verde no Brasil no período de 2002 a 2022, por meio de um organograma além do detalhamento do Programa Nacional do Hidrogênio.
3	4	Mapear os projetos P&D em andamento no Brasil que tenha ênfase no hidrogênio verde, identificando qual o uso finalístico de cada projeto em especial os que possuem ênfase em	Realizar um levantamento dos projetos de H ₂ V em andamento no Brasil com base nos sites oficiais de cada projeto. Identificar a tecnologia utilizada, o	Levantamento documental	Projetos de P&D e MoU em andamento do Brasil que utilizam Hidrogênio Verde. Com identificação do projeto, empresa responsável, localidade do projeto, descrição da atividade desenvolvida, qual

		geração de energia elétrica.	status se é P&D ou MoU e o destino final geração de energia elétrica ou exportação.		estimativa de produção e o uso finalístico.
4	5	Identificar as principais lacunas e/ou dificuldades mapeadas pelos detentores do mercado do H ₂ V.	Levantar as barreiras e lacunas para a consolidação do hidrogênio verde.	Questionário disponibilizado na plataforma Forms, para empreendimentos e órgãos governamentais do setor elétrico brasileiro, selecionados pelas participações em workshop voltados para o hidrogênio verde.	Identificação dos resultados obtidos pelos participantes como área de atuação, principais lacunas existentes, tempo de atuação no mercado do H ₂ V e principal fonte tecnológica usada por eles.

Fonte: Elaboração Própria.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentado o cenário atual de oferta e consumo de energia no Brasil, as fontes disponíveis e as perspectivas do hidrogênio para uso energético até 2050. Também está caracterizado do estado atual do hidrogênio no setor energético no Brasil, realizando um levantamento das principais rotas de produção associadas ao uso do hidrogênio.

3.1. CARACTERIZAÇÃO DO QUADRO DE ENERGIA ELÉTRICA DE FONTES RENOVÁVEIS ATUAIS NO BRASIL

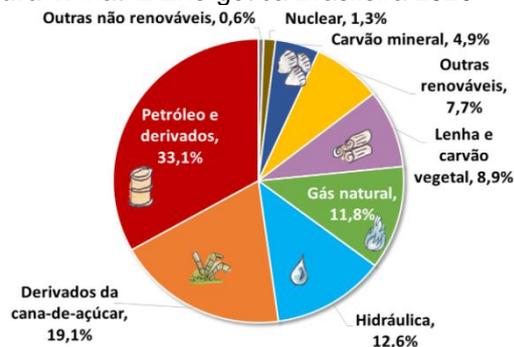
As energias renováveis são provenientes de ciclos naturais de conversão da radiação solar, fonte primária de quase toda energia disponível na Terra e, por isso, são praticamente inesgotáveis e não alteram o balanço térmico do planeta, sendo assim são denominadas como um conjunto de fontes de energia renováveis (PACHECO, 2006). A matriz energética do Brasil se destaca dentre as demais no mundo, pois mesmo que o consumo de energias de fontes não renováveis seja maior que o consumo das fontes renováveis, quando soma se lenha e carvão vegetal, hidráulica, derivados de cana e outras renováveis, ela se destaca como a que mais utiliza fontes renováveis no mundo (EPE,2021).

Estima-se que as fontes de energia renováveis representem 80 a 85% na matriz de geração elétrica e cerca de 40 a 50% na matriz energética brasileira, isto se dá pelo fato de o Brasil contém condições climáticas que

favorecem esses recursos. Essas características fazem com que o Brasil seja um significativo potencial em recursos energéticos (EPE,2050).

Na figura 1 pode se observar a distribuição percentual de todas as fontes que compuseram a matriz energética brasileira no ano de 2020, conforme os dados do Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2021, elaborado pela EPE, que demonstra a diversificação da matriz energética e a presença forte de fontes renováveis, sendo composta de 48,4% de fontes renováveis e 51,6% de não renováveis (EPE,2021).

Figura 1. Matriz Energética Brasileira 2020



Fonte: EPE,2021

Em 2005 as emissões do setor elétrico alcançaram 26,4 milhões de toneladas de CO₂ (1,2% das emissões totais de GEE daquele ano no Brasil). Em 2012 esse montante chegou a 30,7 milhões de toneladas de CO₂, correspondendo a 1,9% das emissões totais deste ano no país. E, em 2013 as emissões oriundas do setor elétrico alcançaram 75 milhões de toneladas CO₂, alcançando o recorde histórico no setor. Tal aumento de emissões está diretamente ligado a dois principais fatores, alteração do regime hidrológico ao longo de 2012 e a entrada em operação de diversas termelétricas leiloadas nos anos de 2007 e 2008, especialmente as movidas a óleo combustível e a gás natural (BOTELHO,2014). O SEEG estima que o total emitido em 2020 foi de 1,52 bilhões de toneladas de CO₂ equivalente, um aumento de 14% em relação a 2019.

O Decreto nº 6.263, de 21 de novembro de 2007, instituiu o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima e orienta o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (BRASIL 2007). Esse plano visa incentivar o desenvolvimento das ações no país que colaborem com o esforço mundial de combate às mudanças climáticas e criar condições internas para o enfrentamento de suas consequências, definindo

medidas e ações de mitigação e adaptação às mudanças climáticas (BRASIL, 2008).
Dentre os objetivos específicos do plano:

Destacam-se o incentivo às fontes de energia limpa pela busca de manutenção elevada da participação de energia renovável na matriz elétrica, pelo fomento do aumento da participação de biocombustíveis na matriz de transportes nacional e pela atuação para a estruturação de um mercado internacional de biocombustíveis sustentáveis (BRASIL, 2008).

De acordo com as metas da Contribuição Nacionalmente Determinada para o setor energético, o Brasil propõe alcançar uma participação de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em até 2030. Promovendo expandir os demais tipos de fontes renováveis, além da energia hídrica, como o aumento da participação de eólica, biomassa e solar (BRASIL, 2015).

3.2. PANORAMA ATUAL DO USO DO HIDROGÊNIO COMO FONTE DE ENERGIA.

O hidrogênio (do grego hidro e genes, 'gerador de água'), também chamado de prótio, é o mais simples dos átomos, composto por um próton e um elétron. Como átomo, é muito reativo e existe na natureza formando moléculas com dois átomos (H_2). Quando misturado em quantidade suficiente com um oxidante, torna-se uma mistura combustível (RAJESHWAR, 2008). O hidrogênio é um dos elementos químicos mais abundantes no mundo, todavia dificilmente ele é encontrado em sua forma isolada na natureza, sendo necessário passar por um processo de extração para se obter o hidrogênio puro.

A produção de H_2 proveniente de fontes de energias renováveis recebe a nomenclatura de Hidrogênio Verde (H_2V), caracterizado por gerar uma energia limpa e sem emissão de gás carbônico. Logo o H_2V vem se tornando um potencial substituto dos combustíveis fósseis no longo prazo, tendo em vista de ser capaz de reduzir a poluição atmosférica, contribuindo na diminuição do aquecimento global, auxilia como uma alternativa possível para suprimento da demanda energética e contribui para a diminuição da dependência do Petróleo (FRANCO, 2021).

Conforme os dados disponíveis no documento "Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira" elaborado no ano de 2021, o hidrogênio já possui um mercado em âmbito nacional. No ano de 2019 este mercado movimentou cerca de USD 136 bilhões, dentre os principais motivos para o alto índice de investimento

nessa economia destacam-se a necessidade dos países investirem em fontes que auxiliem na descarbonização do setor energético para que possam alcançar as metas determinadas no Acordo de Paris (EPE,2021).

O hidrogênio pode ser produzido por meio de fontes renováveis e não renováveis e pode ser usado como matéria-prima em diversos processos industriais (química, alimentícia, refino, combustíveis e outros). Atualmente as principais rotas para produção do hidrogênio são caracterizadas como cinza, obtida por meio do gás natural, sem a captação dos gases que são lançados durante o processo, sendo o método mais barato logo o mais utilizado na indústria. Já azul, que segue a mesma linha do cinza, sendo produzido por meio do gás natural ou carvão mineral. Entretanto possui a tecnologia de captação de gases que são emitidos durante o processo de produção, esta tecnologia faz com que ocorra o encarecimento do processo. E por fim, o hidrogênio verde, que tem ganhado maior enfoque no setor energético por se tratar de um processo limpo por meio da eletrolise da água, e que o setor tem denominado como uma ferramenta de suma importância para a descarbonização do setor industrial (MME,2021).

Quando fala se sobre o processo de extração do hidrogênio, se faz necessário compreender que durante o processo de separação das moléculas de hidrogênio elementar e oxigênio elementar é necessário uma que fonte energética forneça energia suficiente para que haja a separação das moléculas, por este fator o hidrogênio é considerado um vetor energético, já que ele sozinho não e capaz de realizar a separação das moléculas (ANEEL,2018).

Atualmente a maior parte do H_2 que é produzido destina-se para produção de fertilizantes, sendo a amônia o principal composto, para refinarias de processamento do petróleo bruto (PAWELEC; FONSECA, 2020). Entretanto o hidrogênio vem tendo ênfase em muitas pesquisas sobre sua possível utilização na geração de energia elétrica, tendo em vista a crescente demanda de energia e que seu processo de produção possui um baixo impacto ambiental (PAWELEC, FONSECA 2020).

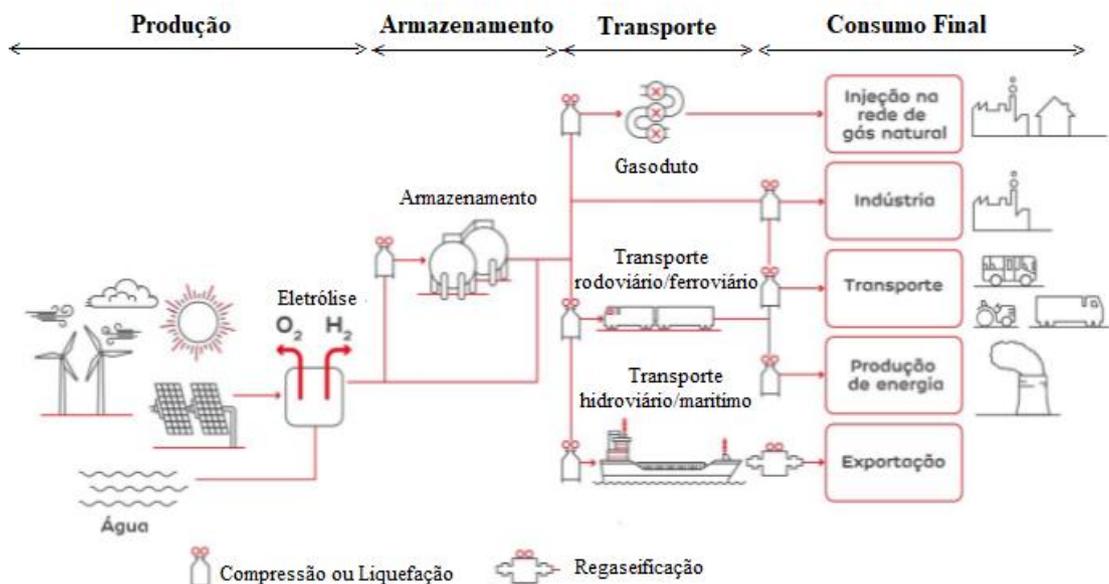
O hidrogênio possui grande versatilidade em termos de forma de produção. Entretanto, o hidrogênio classificado como verde, que recebe essa denominação por ser produzido por meio de fontes renováveis, tais como energia solar ou eólica, é o hidrogênio que vem ganhando maior espaço nas matrizes energéticas mundiais. Seu processo de obtenção é o considerado mais limpo e sustentável quando

comparado com os demais, pois durante seu processo não gera nenhum impacto ambiental quando é obtido por fontes renováveis (IBERDROLA,2021).

Na figura 3 é possível visualizar o processo de obtenção do hidrogênio verde, no qual o hidrogênio necessita de uma fonte primária que forneça energia suficiente para que ocorra a eletrólise, separando o hidrogênio do oxigênio. Quando o hidrogênio é classificado como verde, isso significa que essa mesma fonte primária que fornece energia para o processo de eletrólise é proveniente de energias renováveis. Logo que essa energia passa para o eletrolisador, ocorre a quebra das moléculas de água e assim em consequência é gerado o hidrogênio em seu estado elementar e um subproduto, o oxigênio puro (EDP,2021).

Ao sair do eletrolisador as moléculas de H_2 podem ser armazenadas de duas formas. A primeira, por meio de compressão, quando o hidrogênio se encontra em seu estado gasoso ou por liquefação, quando está no estado líquido. Isso afeta diretamente a forma com que este hidrogênio será transportado. O hidrogênio em gás é utilizado preferencialmente quando será transportado por grandes distâncias, está associado ao transporte hidroviário ou marítimo. Já o hidrogênio líquido pode ser distribuído por gasodutos, por transporte rodoviário ou ferroviário. Após o transporte, o hidrogênio, está disponível para ao seu uso finalístico, seja em industriais, transporte, exportação, geração de energia dentre outras (EDP,2021). O fluxograma dessas etapas pode ser visualizado na figura 2.

Figura 2. Processo de Obtenção do Hidrogênio.



Fonte: Elaboração própria.

3.3. ALTERNATIVAS PARA PRODUÇÃO DO HIDROGÊNIO

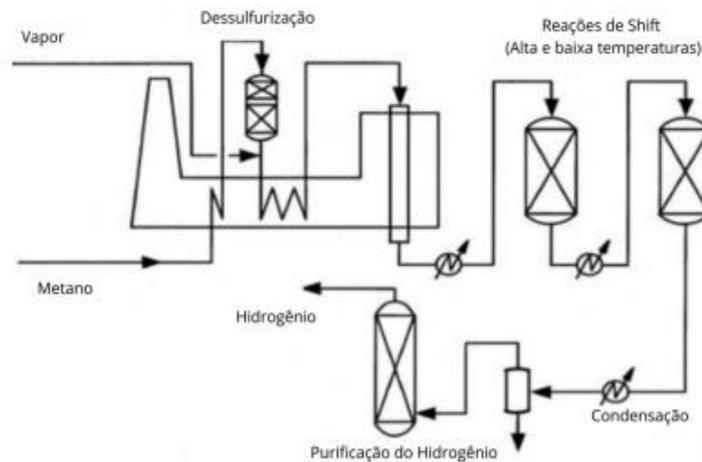
Esta seção tem como finalidade identificar quais os principais métodos que são utilizados na indústria para a produção do hidrogênio. Em seguida, no quadro 1 estão identificadas essas tecnologias, o processo, a matéria-prima e está indicado se o método possui a tecnologia de captação de gases (CCS). Por fim, identifica-se a classificação por tonalidade que o hidrogênio recebe, em função do tipo de processo.

3.3.1. Reforma a Vapor

Este método consiste na reforma de hidrocarbonetos na presença de vapor, possuindo uma vasta possibilidade de combustíveis dentro delas podem ser utilizados durante este processo o metanol, o etanol, gás natural, propano líquido, destilados de petróleo, carvão gaseificado e uma grande diversidade de biomassa gaseificada. O método de reforma a vapor é considerado o que fornece melhor relação custo/benefício nas indústrias de produção de hidrogênio (ATHANASIOU,2010). No Brasil o combustível mais utilizado durante este processo é o etanol, considerando a capacidade instalada e o desenvolvimento de reformadores de etanol, se tornando o mais adequado para o país, além de se decompor com grande facilidade na presença do vapor da água e como produto uma mistura rica em hidrogênio (BERNADI, 2009). Esse processo está esquematizado na figura 3.

O processo se inicia a partir da remoção de enxofre em níveis de parte por bilhão ppb, com a finalidade de facilitar os processos subsequentes. A próxima etapa é onde consiste no processo primário, onde será produzido o hidrogênio, monóxido de carbono e dióxido de carbono. Esta etapa pode ser realizada de três formas distintas, por oxidação parcial, no qual uma quantidade limitada de oxigênio é adicionada ao combustível a fim de se obter o hidrogênio, por reforma auto térmica ou reforma catalítica. A última etapa consiste na redução do nível de monóxido de carbono pela adição de vapor, e, caso necessário, será feita a purificação e o condicionamento para remover possíveis impurezas como amônio, ajusta a temperatura e umidade (BERNARDI, 2009).

Figura 3. Processo de obtenção do hidrogênio por meio da Reforma a Vapor do Metano.



Fonte: Adaptado de Proposta e Simulação de Processo de Reforma a Vapor de Glicerol para Obtenção de Hidrogênio (VILLAÇA, 2018).

3.3.2. Gaseificação

Outra tecnologia bastante utilizada para a produção do hidrogênio é a gaseificação de combustíveis, podendo ser carvão, biomassa ou outros resíduos. Os processos de gaseificação normalmente se destacam pois durante os seus processos eles podem ser adaptados para que haja a captação do CO_2 , além de serem mais eficientes e possuírem um baixo custo quando fala-se de produção de eletricidade. Esse processo está sumarizado na figura 4.

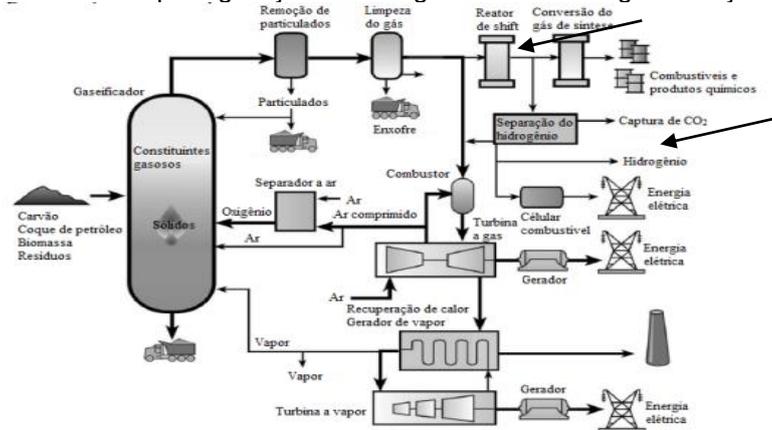
Diversos combustíveis podem ser utilizados como fonte primária de energia para alimentar o reator. No gaseificador, a presença de vapor de água e oxigênio, além de elevadas temperaturas e pressões moderadas, convertem esses combustíveis para gás de síntese (COLLOT, 2006). Os principais componentes do produto são: H_2 , CO , CO_2 , CH_4 , traços de enxofre, além de outros hidrocarbonetos leves e impurezas. A composição final do gás dependerá, entre outros fatores, do combustível utilizado, do tipo de reator e das condições de operação. Na saída do gaseificador, o gás de síntese passa por um processo de limpeza, para remoção de particulados, enxofre e outras impurezas. Com o gás de síntese é possível produzir combustíveis sintéticos, hidrogênio ou energia elétrica (DOMENICO, 2013).

Para aumentar a produção de hidrogênio, o gás de síntese é encaminhado para o reator de shift, onde o gás CO reage com o vapor de água, na presença de um catalisador, para produzir H_2 e CO_2 adicionais. O H_2 e CO_2 são, então, separados, sendo o hidrogênio usado em turbinas a gás, células combustíveis de alta eficiência ou distribuído para a utilização como combustível no setor dos transportes, enquanto o CO_2 pode ser sequestrado. A reação de shift gás-água altera a razão H_2 : CO na mistura final, mas não afeta o

poder calorífico do gás de síntese de forma significativa (STIEGEL e RAMEZAN, 2006).

Na figura 4, o processo de obtenção do hidrogênio por meio da gaseificação ocorre depois que o composto, sendo ele carvão, biomassa ou outros passa pelo reator de shift, no qual se tem o hidrogênio em seu estado elementar que pode ser utilizado em forma de célula a combustível para geração de energia elétrica, estas etapas estão indicadas pelas setas na figura.

Figura 4. Processos para geração de energia com base na gaseificação.



Fonte: Stiegel e Ramezan (2006)

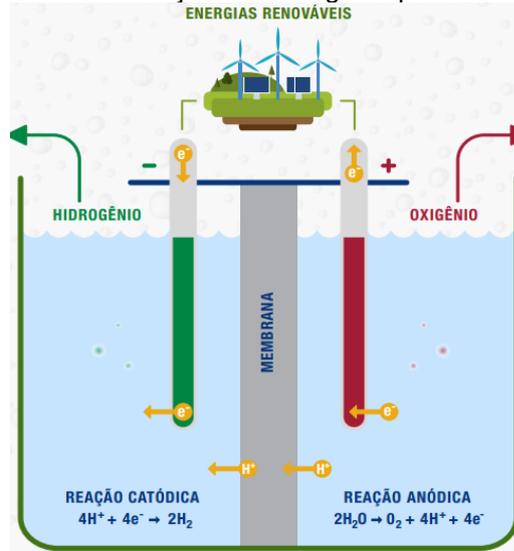
3.3.3. Eletrólise

A eletrólise ocorre por meio da utilização de uma corrente elétrica capaz de realizar a dissociação das moléculas de oxigênio e hidrogênio que compõem a água. Caso essa eletricidade seja proveniente de fontes renováveis, então esse processo é classificado como sustentável quando comparado com os demais métodos de produção do hidrogênio a geração de energia sem emitir dióxido de carbono na atmosfera (IBERDROLA,2021). Conforme dados do Agência Internacional de Energia, a utilização desse método acarretaria a diminuição de 830 milhões de toneladas de gás carbônico por ano que são gerados quando o hidrogênio é produzido por combustíveis fósseis (IEA,2020).

Esse processo é composto por quatro etapas e seu produto final o hidrogênio. A etapa inicial se dá com o fornecimento de uma fonte renovável, seja energia solar, energia eólica, dentre outras, que fornece eletricidade. A água utilizada nesse processo deve conter sais e minerais, pois eles serão os responsáveis por conduzir essa eletricidade proveniente das renováveis. Na segunda etapa, já dentro do eletrolisador, são utilizados dois eletrodos submersos na água e conectados a uma

fonte de energia que irá fornecer a corrente contínua para que o processo ocorra. A terceira, consiste na decomposição das moléculas de água, formando o hidrogênio elementar e o oxigênio elementar. Isso ocorre quando os eletrodos atraem para si os íons de cargas opostas, fazendo com que haja uma reação oxidação-redução devido ao uso da eletricidade presente no processo (Departamento de Energia dos EUA,2020). Na figura 5 pode-se verificar a síntese da eletrólise.

Figura 5. Processo de Obtenção do Hidrogênio por eletrólise da água.



Fonte: Departamento de Energia dos EUA e Wood Mackenzie.

No Quadro 2, foi feito um levantamento das principais tecnologias de produção do hidrogênio no mundo, com a finalidade de identificar quais os principais processos utilizados na geração de energia por meio do hidrogênio e sua classificação. A tonalidade conferida ao hidrogênio que indica o processo usado e sua matéria prima. CSS, na segunda coluna indica se existe a tecnologia capaz de realizar a captação e armazenamento do gás carbônico emitido durante o processo de produção, na terceira coluna está identificada a matéria-prima utilizada para a obtenção do hidrogênio e na última coluna está identificada a tonalidade que esse produto recebe (EPE,2021).

Tabela 2. Identificação das Tecnologias de produção do hidrogênio.

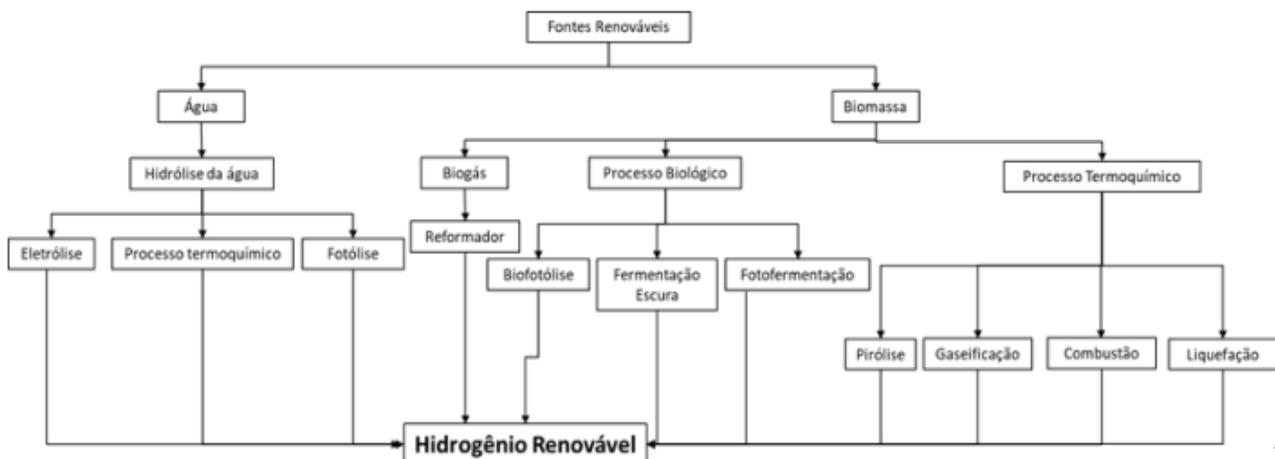
Processo			
Processo	Captação dos Gases	Matéria - Prima	Tonalidade
Reforma a vapor	Sem CCS	Gás Natural	cinza
	CCS	Gás Natural/Carvão mineral	azul
Gaseificação	Sem CCS	Carvão mineral (hulha)	marrom

	Sem CCS	Carvão mineral (antracito)	preto
Eletrolise	-	Água	verde
Craqueamento térmico	-	Metano	turquesa
Reforma por catalíticas/ gaseificação ou biodigestão	-	Biomassa ou Biocombustíveis	musgo
Usina nuclear	-	Energia nuclear	roxo

Fonte: Elaboração Própria, com base nos artigos científicos sobre o hidrogênio da EPE, MME, IEA,2022.

Conforme já ressaltado o hidrogênio também pode ser usado como uma alternativa renovável, quando produzido por meio de uma fonte de energia renovável. Na figura 6 estão identificadas as principais rotas tecnológicas que podem ser utilizadas para se obter o hidrogênio de forma renovável. No qual pode se verificar que o processo está subdividido em duas matérias prima principais, sendo ela água ou biomassa.

Figura 6. Classificação das rotas de produção do hidrogênio a partir de fontes renováveis.



Fonte: Traduzido de Martinez-Burgos et al. 2021

3.3.3.1 Eletrolisadores

O uso dos eletrolisadores no processo de produção de hidrogênio está aumentando com o passar dos anos. Sua tecnologia possui a versatilidade de ser implementada a partir de qualquer fonte energética, ou seja, eletricidade para que

possa ocorrer a quebra das moléculas. Entretanto no escopo deste estudo, se faz necessário que este suprimento de energia elétrica seja proveniente de fontes de energias renováveis, como energia solar e eólica.

O eletrolisador é um equipamento que por meio do processo de eletrolise da água, é capaz de realizar o processo de dissociação dos componentes que compõem a água, gerando o hidrogênio puro e o oxigênio puro como subprodutos deste processo. Logo dentre as principais vantagens associadas ao uso de eletrolisadores no processo produtivo para obtenção de hidrogênio, podem se destacar a sua alta capacidade de pressurização, sendo capaz de chegar até 40 BAR este fator facilita no processo de reconversão de energia elétrica para a geração de hidrogênio e o alto índice de pureza do hidrogênio produzido, que chega a um índice de 99,99% de pureza (HYTRON,2022).

Um eletrolisador é composto pelos seguintes componentes: (a) um reservatório que contém a solução eletrolítica ou eletrólito, (b) um reator eletrolítico constituído de eletrodos e diafragmas ou separadores, posicionados entre os eletrodos, purgadores e aparelhos de medida (voltímetro, amperímetro, pressostato, manômetro). Além disso o eletrolisador deve conter uma fonte de alimentação, incluindo transformadores e retificadores de corrente alternada para corrente contínua; sistemas de refrigeração; sistemas auxiliares para condicionamento do gás produzido, incluindo purificação, secagem e compressão (PEREIRA, 2005).

Figura 7. Primeiro Eletrolisador fabricado no Brasil pela empresa Hydron.



Fonte: Hydron,2022.

O valor esta tecnologia é bastante alto nos dias atuais e este valor influencia diretamente no custo de energia elétrica gerada por um eletrolisador, conforme dados do Centro de Desenvolvimento de Matérias Funcionais (CMDF da Universidade de São Carlos, uma alternativa para baratear a tecnologia e torna-la cada vez mais competitiva, seria aumentando a eficiência dos eletrolisadores, a CDMF realizam estudos sobre os matérias capazes de reduzir o consumo de energia no processo químico, ou seja, na eletrolise da molécula da água, um dos principais resultados já obtidos seria a substituição por matérias do tipo metais nobres (FAPESP,2022).

4 O PANORAMA DO HIDROGÊNIO VERDE.

Este capítulo tem se como finalidade apresentar os possíveis atores e/ou detentores de interesse que irão compor a cadeia produtiva do hidrogênio verde no Brasil, além de um mapeamento dos órgãos governamentais responsáveis por regular o uso e o mercado no H_2V para geração de energia elétrica.

A cadeia produtiva do hidrogênio verde ainda não está consolidada, isto se dar por se tratar de uma recente tecnologia e pouco explorada. O crescimento de estudos voltados para o seu uso, teve aumento principalmente no ano de 2021 com o agravamento das mudanças climáticas e com a falta de gás natural em decorrência da guerra entre Ucrânia e Rússia.

Entretanto já existem estudos sobre essa temática em andamento, um destes estudos conseguiu quantificar os principais atores atuantes ou com potencial de atuação futura na cadeia produtiva do H_2V no Brasil. No qual obteve um total de 203 empreendimentos sendo eles classificados em 33 empresas produtoras, 41 consumidoras, 88 fornecedores de tecnologia, 13 prestadores de serviços, 12 representantes setoriais e 16 universidades e centros de P&D (GIZ,2021).

4.1 AGENTES E INSTRUMENTOS NA GOVERNANÇA DO HIDROGÊNIO COMO FONTE PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.

Esta seção tem como objetivo demonstrar os resultados de um levantamento dos documentos disponíveis, produzidos pelos órgãos governamentais sobre o uso do hidrogênio para fins energéticos, além de realizar um mapeamento dos atores que irão compor os agentes que iram elaborar as diretrizes e normas para o uso do hidrogênio no Brasil.

O avanço da utilização do hidrogênio verde como fonte para geração de energia no Brasil está relacionado a dois fatores. O primeiro é a demanda. Ao passo que a demanda energética interna aumenta fazem-se necessários estudos em fontes renováveis capazes de suprir essa demanda. Esse fator faz com que cada vez mais aumente o número de estudos e projetos que tenham o H₂V como. O segundo fator está relacionado com a regulamentação necessária para abertura de um mercado para o hidrogênio verde para regularizar o setor e permitir a estruturação da cadeia produtiva do hidrogênio.

Na figura 10 pode-se verificar um organograma dos órgãos responsáveis pela cadeia produtiva do hidrogênio no Brasil, identificando-se os níveis hierárquicos, os principais instrumentos e ações. No primeiro nível de sua cadeia de comando encontra-se o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), que é o órgão de assessoramento do presidente da República para formulação de políticas e diretrizes de energia no Brasil. Esse Conselho indica ações a serem tomadas pelo governo federal com assessoria técnica das agências reguladoras (EPBR,2017).

Em 2021 o CNPE publicou duas resoluções que foram importantes para o desenvolvimento do setor do hidrogênio no Brasil. A primeira, é a Resolução CNPE nº02 de 2021 que determina a inclusão e priorização do hidrogênio como um dos temas para investimentos em P&D, sendo responsabilidade da ANP e da Agência Nacional de Energia Elétrica nortear essa pesquisa e desenvolvimento (CNPE,2021).

A segunda Resolução do Conselho Nacional de Políticas Energéticas - CNPE, nº06 de 2021 determina que o MME, em colaboração com os órgãos Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI), Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR) e apoio da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), desenvolvam diretrizes e em seguida sejam apresentem para o governo afim de que essas possam compor o Programa Nacional do Hidrogênio, estudo desenvolvido em conjunto com MCTI, MDR e EPE com a finalidade de fazer um levantamento sobre desafios e oportunidades para desenvolvimento da indústria e do mercado de hidrogênio no Brasil.

Abaixo da CNPE, no segundo nível, encontra-se o Ministério de Minas e Energia (MME), que é o órgão responsável pelo direcionamento do uso do hidrogênio como fonte energético no Brasil. No mesmo nível do MME encontra-se o MCTI, que é um órgão que não figura entre os atores responsáveis pelo setor

energético. Entretanto teve participação e algumas iniciativas sobre o uso do hidrogênio, como por exemplo, a sua participação na documentação da criação do Programa Nacional do Hidrogênio.

Outro destaque da participação do MCTI sendo o responsável pelo convenio com o Centro Nacional de Referência em Energia de Hidrogênio, criado por meio de um convênio entre o Ministério da Ciência e da Tecnologia, Unicamp, Universidade de São Paulo (USP), Centrais Energéticas de Minas Gerais (Cemig) e a organização não-governamental Vitae Civilis. Esses órgãos foram responsáveis pela criação do Centro Nacional de referência em Energia do Hidrogênio (CENEH) e pelo Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação a Economia do Hidrogênio (ProH2).

Abaixo do MME, no terceiro nível da cadeia de comando, está o Comitê de monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), com a função de acompanhar e avaliar permanentemente a continuidade e a segurança do suprimento eletroenergético em todo o território nacional (MME,2004) e a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que vinculada ao MME, e foi a responsável pela elaboração das Bases de Consolidação da Estratégia Brasileira do hidrogênio (EPE,2021).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) tem como responsabilidade regular e fiscalizar a produção, transmissão e comercialização de energia elétrica em conformidade com as políticas e diretrizes do governo federal (MME,1996). Tem-se também a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), logo abaixo da ANEEL e está ligada à comercialização da energia e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), que é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) e pelo planejamento da operação dos sistemas isolados do país, sob a fiscalização e regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ONS,1998).

E por fim, no último nível está a Associação Brasileira do Hidrogênio (ABH2), que reúne os principais atores e/ou agentes envolvidos no setor de tecnologia do hidrogênio e pilhas a combustível e tem o papel de fomentar a cadeia da produção, armazenamento, distribuição e uso do hidrogênio para fins energéticos e industriais no Brasil (ABH2,2017).

Figura 8. Organograma dos órgãos responsáveis pelo hidrogênio no Brasil.



Fonte: Elaboração própria.

4.2 HISTÓRICO E PERSPECTIVAS DO HIDROGÊNIO VERDE NO BRASIL.

A primeira “onda do hidrogênio”, aconteceu no ano de 1970 com a crise do petróleo, quando a produção e o preço das *comodities* estava muito alto. Já a “segunda onda” se deu pela percepção das mudanças climáticas, por volta dos anos de 1997. A “terceira onda” como é denominada a volta do hidrogênio, para um cenário caracterizado como uma alternativa capaz de compor a matriz energética, se deu com a percepção das mudanças climáticas e ganhou força logo após o Acordo de Paris, em que o principal objetivo era a redução do aquecimento global. Com isso o governo brasileiro começou a incentivar pesquisas que auxiliassem no desenvolvimento de um cenário mais sustentável, apoiando o uso de fontes renováveis (EDDEBBAR; GALLO; LINSMAYER, 2015).

Assim, o primeiro contato do Brasil com o hidrogênio se deu por volta do ano 2002 com o lançamento do Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio (ProH2) desenvolvido pelo MCTI. Seu principal objetivo é realizar a apresentação de incentivos em ações em pesquisas e desenvolvimento de normas técnicas para a economia e a viabilidade técnica do hidrogênio no Brasil. Um ano depois, em 2003, por meio do ProH2, o Brasil realizou um a Parceria Internacional para o Hidrogênio e células a combustíveis na Economia - IPHE com a Alemanha que tinha como representante o MME e que em 2018 seria transferida para o MCTI (MME,2018).

Em 2005 o MME desenvolve um documento denominado “Roteiro para Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil”, que tinha como finalidade estabelecer as premissas para uma estratégia nacional, fazendo um levantamento das principais barreiras sobre o desenvolvimento da chamada “economia do hidrogênio no Brasil” e dando ferramentas para que esses obstáculos fossem vencidos (MME,2005).

Em 2010 o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, em parceria com o MCTI, apresentou o documento “Hidrogênio Energético no Brasil – Subsídios para políticas de competitividade: 2010 – 2025”, contendo os subsídios para a definição de ações políticas institucionais para o desenvolvimento de uma economia de hidrogênio tendo como base em “recomendações gerais para incentivo à economia, produção, desenvolvimento da logística e sistemas de utilização do hidrogênio”.

Em 2017 a Agenda Estratégica de CT&I no Setor Elétrico Brasileiro foi desenvolvida pela CGEE, e traz uma atualização para as propostas de 2010, com a finalidade de fornecer mais informações desenvolvimento para a temática de geração de energia elétrica e armazenando de energia para o hidrogênio e célula a combustível, com base em um amadurecimento das tecnologias em surgimento no cenário mundial (CGEE, 2017, p.156-166).

O Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Renováveis e Biocombustíveis em 2018-2022, criado em 2018 pelo MCTI, indica o hidrogênio como uma tecnologia alternativa para o setor de energias renováveis, reconhecendo o potencial estratégico que pode ser oferecido pelo hidrogênio. Apresenta também recomendações para o fomento da pesquisa no sentido de “promover estudos sobre o potencial das energias oceânicas, heliotérmica, eólica offshore e hidrogênio”, além de “articular a formação e consolidação de redes de pesquisa e desenvolvimento com foco em energia heliotérmica e hidrogênio”, do “desenvolvimento tecnológico e da inovação nas cadeias produtivas de tal tecnologia, fortalecendo a competitividade e aumentando a diversificação da matriz energética de forma segura e eficiente”(MCTIC, 2018).

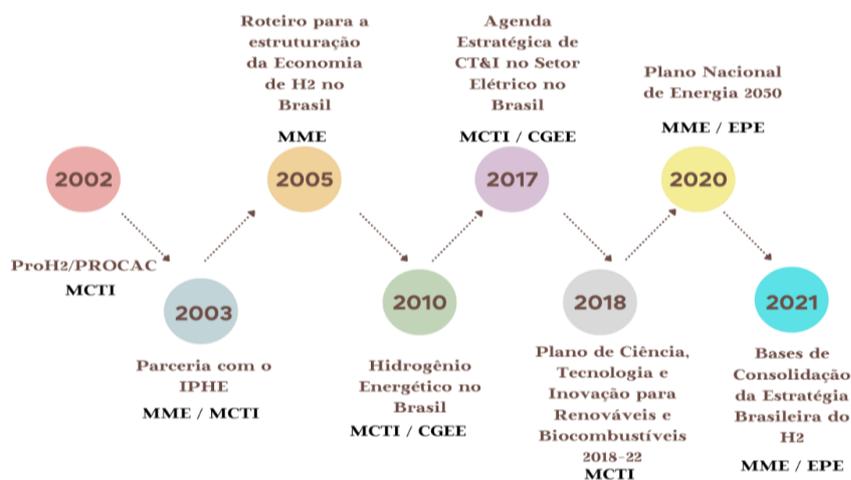
Em 2020 o hidrogênio volta a ser um tema discutido pelo governo federal por meio do documento Plano Nacional de Energia 2050, da seção Tecnologias Disruptivas, que ressalta que o hidrogênio pode ajudar a superar alguns desafios energéticos, tais como: “descarbonização de setores de difícil redução de emissões, armazenamento para renováveis, segurança de abastecimento por conta da

versatilidade de produção a partir de fontes renováveis e não renováveis e diversidade de aplicação direta ou convertida em eletricidade ou outros produtos de interesse comercial” (MME/EPE, 2020a, p. 187-189).

Em 2021 a EPE, sob a tutela do MME, lançou uma nota técnica denominada “Bases para Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio”, com o intuito de desenvolver aspectos conceituais e fundamentais para a construção da estratégia brasileira para o setor do H_2 (EPE, 2021, p.28).

Por meio desse histórico pode-se observar que o hidrogênio já é uma fonte energética considerada desde o ano de 2002, entretanto essa fonte estava ligada apenas a pesquisa e desenvolvimento. Somente com o agravamento das questões ambientais que o Brasil passa a considerar este mercado, mas é apenas no ano de 2020 por meio do Plano Nacional de Energia de 2030 que o hidrogênio ganha forma para que o governo brasileiro comece a criar estratégias para a regulamentação e avanço do uso do hidrogênio para gerar energia elétrica. Entretanto, para que haja o aumento do uso do hidrogênio verde ainda se faz necessário, haja um mercado bem regulamentado e mais investimento em estudos para que possa acontecer o barateamento das tecnologias utilizadas para a produção do hidrogênio para que este seja considerado em questões econômicas um concorrente das utilizadas atualmente (MME, EPE,2021). Todo este histórico de acontecimentos está resumido por meio da figura 9.

Figura 9. Linha do tempo dos principais marcos sobre o hidrogênio no Brasil.



Fonte: Elaboração própria. Com base dos documentos públicos MME, EPE, MCTI e CGEE.

4.2.1 Programa Nacional do Hidrogênio

Dentre todas as ações mapeadas que têm como foco o desenvolvimento da economia do hidrogênio verde, destaca-se o Programa Nacional do Hidrogênio, que no qual possui diretrizes que nortearão o desenvolvimento deste mercado. Por meio da resolução CNPE 06/2021 que determinou que o Ministério de Minas e Energia em conjunto com o MCTI, MDR e a EPE realizassem estudos para proposição das diretrizes para o programa. As diretrizes do H_2V no documento são subdivididas em 6 eixos sendo eles:

Eixo 1 - Fortalecimento das bases tecnológicas;

Eixo 2 - Capacitação e recursos humanos;

Eixo 3 - Planejamento Energético;

Eixo 4 - Arcabouço Legal-Regulatório;

Eixo 5 - Crescimento de Mercado e Competitividade;

Eixo 6 -Cooperação Internacional.

Esta divisão das diretrizes tem como principal objetivo mapear as ações que precisam ser tomadas para que possa haver o desenvolvimento da economia do hidrogênio verde, fazendo com que haja cada vez mais investimento no uso do hidrogênio para fins energéticos. Cada eixo possui a flexibilidade de ser desenvolvido e implementado independente dos demais. No ano de 2022 os eixos que já tiveram início foram os eixos 3 e 6, estes eixos visam o planejamento energético e a cooperação internacionais, com isso e importante destaca que a maioria dos projetos de P&D ou MoU em andamento no Brasil possuem parcerias internacionais que financiam os projetos para fins de planejamento energético.

O eixo 4 também começa a dar seus primeiros passos ao ponto que foi publicada a Resolução CNPE 02/2021 que orienta o “uso de recursos de P&D para inovação e tecnologias relevantes para a transição energética brasileira trazendo dentro dela o hidrogênio verde”.

E o Pacto Energético, que trabalha do desenvolvimento do eixo 4 e eixo 5, que tem como finalidade o desenvolvimento do mercado, por meio de um compromisso voluntário e é dividido em 3 pilares: P&D, capacitação humana e uma plataforma colaborativa chamada H2+Brasil.

A resolução CNPE 06/2022, aprovada em 23 de junho de 2022, determinou a implantação do programa “com objetivo de fortalecer o mercado e a indústria do hidrogênio”. Com isso, ficou instituído o Comitê Gestor do PNH2 – Coges que tem

como finalidade desenvolver, coordenar, supervisionar o planejamento e a implementação do programa”. Esse Comitê Gestor será constituído por 12 membros de órgãos e entidades, e coordenado por um representante do Ministério de Minas e Energia que será responsável por coordenar as reuniões mensais do programa (MME,2022), sendo eles:

- I. Representante da Casa Civil da Presidência da República;
- II. Representante da Secretaria Especial de assuntos estratégicos da Presidência da República;
- III. Representante do Ministério da Educação;
- IV. Representante do Ministério da Economia;
- V. Representante do Ministério do Meio Ambiente;
- VI. Representante do Ministério das Relações Exteriores;
- VII. Representante do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento;
- VIII. Representante do Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação;
- IX. Representante do Ministério do Desenvolvimento Regional;
- X. Representante da Agência Nacional de Energia Elétrica;
- XI. Representante da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível;
- XII. Representante da Empresa de Pesquisa Energética.

4.3 PROJETOS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO E MEMORANDO DE ENTENDIMENTOS

Esta seção tem como objetivo realizar o mapeamento dos principais projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e Memorando de Entendimentos (MoU) em andamento no Brasil.

Neste mapeamento identificou-se que os projetos que possuem atividades associadas ao hidrogênio verde com a finalidade de compreender qual o uso finalístico destes projetos, para pesquisas no desenvolvimento de produção de energia elétrica ou para produção de combustíveis. Além disso, verificou-se se os projetos estão direcionados para o uso nacional, com foco em geração de energia ou se são para exportação do combustível.

O ano de 2021, foi marcado pelo surgimento de projetos P&D em escala piloto e outros em escala industrial no qual fazem uso do hidrogênio verde. Estes projetos se encontram em fase de estudo de viabilidade técnica e econômica.

Foram identificados seis projetos em andamento no Brasil que fazem pesquisas sobre o hidrogênio verde. Cinco desses projetos já passaram de P&D para MoU, que é a fase em que o projeto passa a ser considerado uma empresa, tendo assim status de uso comercial. Nesse momento ocorre a assinatura de um contrato entre as partes, firmando os termos do projeto em andamento. Uma informação importante é que apenas dois projetos identificados são destinados para uso do H₂V em território nacional, sendo um para pesquisa e desenvolvimento sobre a elaboração e o fortalecimento da cadeia produtiva do H₂V e o outro projeto está voltado para a geração de energia elétrica para consumo brasileiro. Já os demais projetos são investimentos ou parcerias internacionais com o objetivo de produzir hidrogênio verde no Brasil para que seja exportado para o uso em outros países.

Com isso a seguir, estão mapeados os principais projetos identificados na pesquisa no Brasil que possuem ênfase na produção do hidrogênio verde, grande parte dos projetos possuem parcerias internacionais financiando o projeto, isto é um dos fatores que demonstram o grande potencial do Brasil para produção de H₂V. Isso se dá principalmente pelo fato do Brasil possui um grande percentual de fontes renováveis em sua matriz elétrica além de uma grande abundância em recursos naturais como água, sol e vento. Os seguintes projetos foram identificados:

- 1) **Fortescue Future Industries Pty Ltd:** projeto localizado no Porto de Açu, é considerado o maior porto industrial da América Latina, este projeto se encontra em status de MoU, em que são feitos estudos de viabilidade para instalação de uma planta de hidrogênio verde com capacidade de 300 MW (PORTODOAÇU,2021).
- 2) **Energix Energy Pte Ltd:** O projeto denominado “*Base One*”, uma parceria realizada entre um empreendimento australiana e o governo do Ceará, tem como finalidade a construção de uma base no porto de Pecém, capaz de produzir cerca de 600 mil toneladas de hidrogênio anualmente, a partir de 3,4 GW de energias renováveis, principalmente energia eólica que serão destinados para exportação. Esse projeto está em status de MoU, e tendo em vista o alto potencial do Ceara para energias solar e eólica tem como objetivo expandir e futuramente ter um parque eólico capaz de produzir 100 GW por ano para ser utilizado para produzir hidrogênio verde para diversos fins, sendo um deles a geração de energia elétrica (COMPLEXO DE PECÉM,2021).

- 3) Qair Brasil:** esse projeto prevê que com auxílio de uma planta de geração eólica *offshore* com uma capacidade de 1.216 GW, será capaz de produzir cerca de 296 mil toneladas de hidrogênio verde por ano, que serão destinados à exportação. O projeto com sede no porto de Pecém e que compõem as empresas que formam o HUB de Pecém tem como objetivo ser capaz de produzir, armazenar, transportar e comercializar o combustível renovável a partir do ano de 2023 (EPBR,2021).
- 4) Parque Tecnológico Itaipu:** O PTI junto com o CIBiogás é o primeiro projeto para desenvolvimento do Programa de Inovação em Hidrogênio verde no Brasil. Visa realizar estudos sobre o desenvolvimento da cadeia produtiva do hidrogênio verde do país de uma forma estratégica, buscando soluções para a geração, distribuição e aplicação do H₂V no Brasil. Esse projeto é uma parceria feita entre a Câmara de Comercio e o AHK Rio (Industria Brasil-Alemanha) (PTI,2022).
- 5) Furnas:** O projeto tem como finalidade estudar a inserção do armazenamento de energia no Sistema Interligado Nacional -SIN, buscando sinergia entre a geração hidroelétrica e o armazenamento de energia. O processo de obtenção do hidrogênio será por meio da eletrolise da água, com auxílio do eletrolisador, alimentado por fonte de energia fotovoltaica. O hidrogênio armazenado será utilizado na obtenção de eletricidade por meio do uso de célula de combustível e essa energia será integrada ao SIN por meio da subestação instalada na UHE de Itumbiara (FURNAS,2021).

O Quadro 3, tem como finalidade trazer as informações complementares sobre os projetos que foram mapeados. Foram identificados dados da empresa responsável pelo projeto e status em que o projeto se encontra, podendo ser classificado como P&D ou MoU, além da localidade de onde o projeto está sendo desenvolvido, objetivo finalístico de cada projeto e qual a estimativa de produção do projeto.

Quadro 3. Mapeamento dos projetos de P&D e MoU em andamento no Brasil que utilizam Hidrogênio verde.

PROJETO	EMPRESA RESPONSÁVEL	LOCAL	STATUS	ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO	ATIVIDADE	USO FINALÍSTICO
H ₂ V	Fortescue Future	PORTO DO AÇU -	MoU	300 MW	GERAÇÃO DE ENERGIA	ELETRICIDADE

	Industries Pty Ltd	RJ			ELÉTRICA	
H₂V	Energix Energy Pte Ltd	PORTO DE PECÉM - CE	MoU	600 Kt H ₂	PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO	EXPORTAÇÃO
H₂V	QAIR	PORTO DE PECÉM - CE	MoU	296 Kt H ₂	PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO	EXPORTAÇÃO
H₂V	PARQUE TECNOLÓGICO ITAIPU - PTI	FOZ DO IGUAÇU - PR	P&D	SEM EXPECTATIVA INICIAL	DESENVOLVIMENTO DA CADEIA PRODUTIVA DO H ₂ V	PESQUISA
H₂V	EDP	PORTO DE PECÉM - CE		250 m ³ H ₂ /h	PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO	EXPORTAÇÃO
H₂V	White Martins (Linde/Praxair)	PORTO DE PECÉM - CE		SEM EXPECTATIVA INICIAL	PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO	EXPORTAÇÃO
H₂V	Furnas	UHE Itumbiara - MG/GO	P&D	-	GERAÇÃO/ARMAZENAMENTO DE HIDROGÊNIO	ELETRICIDADE

Fonte: Elaboração Própria com base sítios institucionais de Furnas, White Martins, EDP, Energix e EPBR, 2022.

4.4 PROJETOS EM UNIVERSIDADES

O desenvolvimento de pesquisas em universidades são importantes, pois eles fomentam a base bibliográfica do assunto em análise, e como consequência elas fornecem mais segurança sobre o hidrogênio verde e a tecnologia associada ao seu processo produtivo.

Este tópico tem como finalidade identificar as instituições ou universidades que possuem projetos de estudos em andamento que podem auxiliar no desenvolvimento da cadeia produtiva do hidrogênio verde no Brasil. No quadro 4 estão identificadas a instituição e o projeto desenvolvido.

Quadro 4. Universidade que possuem projetos com ênfase no desenvolvimento do H₂V.

Instituição	Projeto
Universidade Federal do Paraná -UFPR	Estudo dedicado a novas rotas

	<p>tecnológicas para produção do combustível, sendo o H₂V um dos enfoques deste estudo (UFPR,2022). Financiado pela Agência Técnica de Cooperação Alemã GIZ e o Centro Internacional de Energias Renováveis, com investimento de cerca de R\$ 9 milhões.</p>
<p>Universidade Federal do Ceará - UFC</p>	<p>Estudo voltado para investigação de materiais metálicos capazes de aumentar a eficiência e reduzir custos dos eletrolisadores (COMPLEXO DE PECEM,2021). Financiado pela FUNCAP, com investimento de R\$ 500 mil.</p>
<p>Universidade Federal de São Carlos - UFSCar</p>	<p>Estudo voltado para investigação de materiais metálicos capazes de aumentar a eficiência e reduzir custos dos eletrolisadores (CMDf,2022). Financiado pela FAPESP (n°13/07296-2) com investimento de R\$ 34.869.423,03</p>
<p>Instituto Federal do Ceará - IFCE</p>	<p>Estudo com a finalidade de ampliar a produção, a geração e o processamento do combustível H₂V auxiliando na implementação do Hub do Hidrogênio Verde do Ceará (COMPLEXO DE PECEM,2021). Financiado pelo convenio entre o governo do Ceará e o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações com investimento de R\$ 6,5 milhões.</p>
<p>Universidade Federal da Paraíba - UFPB</p>	<p>Pesquisas com finalidade de desenvolver catalisadores para produzir</p>

Universidade de São Paulo - USP

hidrogênio a partir da água (UFPB,2020).

O projeto atua na produção de patentes e busca financiamento público e/ou privado.

Projeto de acordo de cooperação com o SENAI, SHELL Brasil, Raízen e Hytron para a construção de duas plantas de produção de hidrogênio a partir do etanol, a primeira sendo capaz de produzir 5 kg/h de hidrogênio, e a segunda planta com capacidade de 44,5 kg/h (USP, 2022).

Financiado pela SHELL Brasil com investimento de cerca de R\$ 50 milhões regulado pela Agência Nacional do Petróleo.

Fonte: Elaboração própria com base no site oficial de cada universidade,2022.

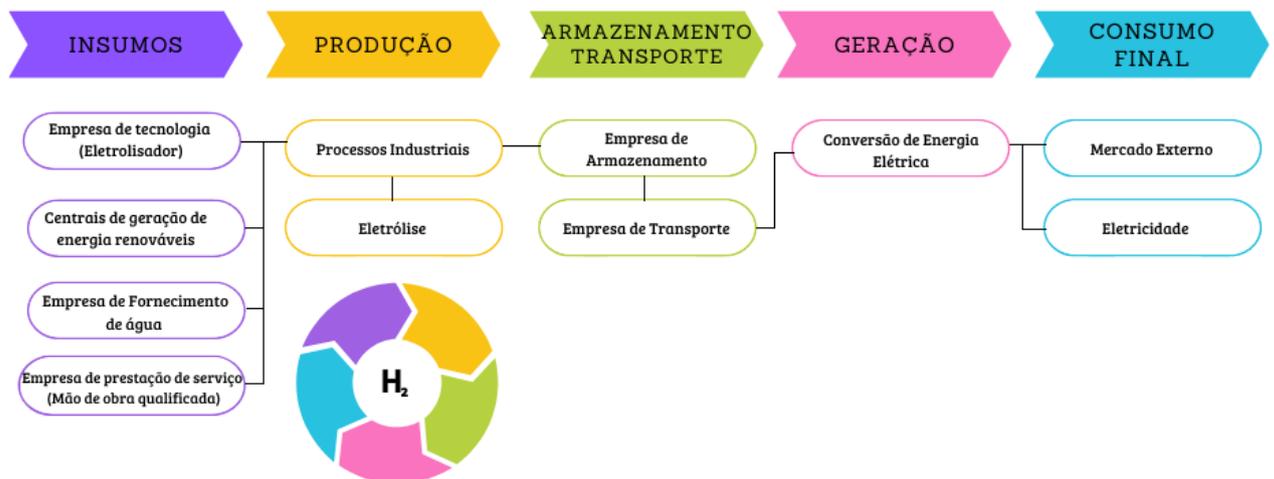
A cadeia produtiva do H₂V no Brasil ainda não está consolidada. Entretanto já existem estudos que abordam possíveis atores do setor público e privado que podem compor esta cadeia produtiva do hidrogênio verde. Segundo dados do Portal do H₂V no Brasil, uma pesquisa demonstra um quantitativo de 175 atores que podem compor a cadeia de valor do H₂V no Brasil, sendo divididos em produtores, consumidores, fabricantes de tecnologia e componentes, distribuidoras, transportadoras, empresas de serviços de consultorias e institutos de academia e pesquisa (PORTAL DO HIDROGENIO VERDE,2022).

A figura 10 tem como finalidade demonstrar a estrutura da cadeia produtiva do hidrogênio verde no Brasil, dividindo-a em cinco etapas, sendo elas, insumo, produção, armazenamento, transporte, geração e consumo final. A primeira etapa as empresas responsáveis pela tecnologia em uso no processo produtivo e as empresas dos componentes eletrônicos necessários neste processo. Além das empresas da matéria prima, que neste caso é a água, as centrais de geração de energia renováveis, sendo elas responsáveis pelo fornecimento da energia elétrica

necessária para o processo de eletrolise e por fim as empresas de prestação de serviços, sendo consultorias técnica, ambiental, jurídica ou outras. A segunda etapa é composta pela produção, onde estão alocadas as empresas que são responsáveis pelo desenvolvimento do processo de eletrolise.

A terceira etapa tem se as empresas que realizam o processo de armazenamento e/ou do hidrogênio e as que são responsáveis pelo transporte. Na quarta etapa encontra se as empresas que realizarão a conversão do combustível hidrogênio verde em energia elétrica, podendo ser alocada no sistema interligado nacional e em seguida, na quinta etapa para os consumidores.

Figura 10.Proposta de Cadeia Produtiva do Hidrogênio verde.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

5 DESAFIOS PARA A CADEIA PRODUTIVA DO HIDROGÊNIO PARA FINS ENERGETICOS NO BRASIL.

Este capítulo tem como finalidade identificar as principais dificuldades no desenvolvimento do mercado do hidrogênio verde no Brasil entre os anos de 2002 à 2022.

5.1 CICLO DE VIDA DO HIDROGÊNIO VERDE

Tendo em vista que a cadeia produtiva do hidrogênio no Brasil ainda está em desenvolvimento e que há a necessidade de investimentos em estudos que auxiliem na base teórica do hidrogênio verde, diante do seu alto potencial como para fins

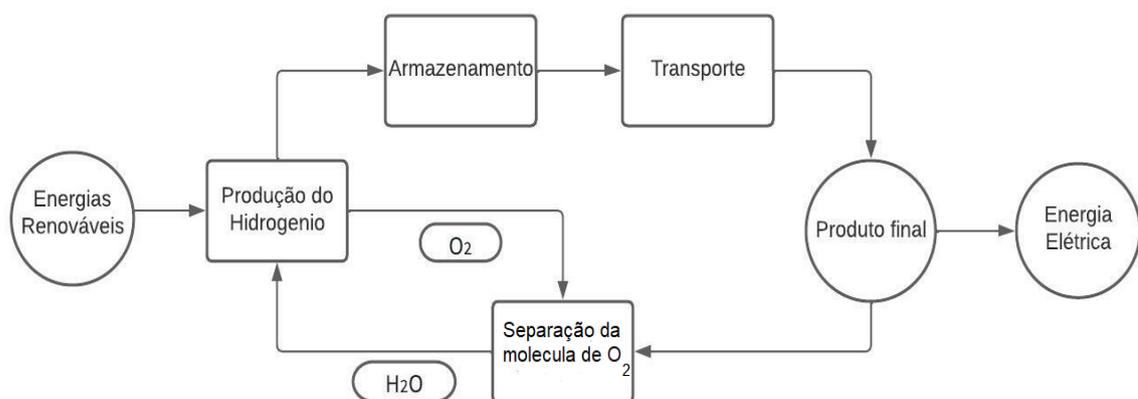
energéticos, faz-se necessário compreender como está estruturado o ciclo de vida do elemento estudado, identificar a matéria prima e as etapas que compõem o ciclo de vida do hidrogênio. Um fluxograma do ciclo de vida foi elaborado, composto por seis etapas principais, extração, produção, distribuição, armazenamento, transporte e consumo final.

O ciclo de vida do hidrogênio verde começa a partir da captação da água disponível do meio ambiente. As moléculas de água são submetidas a um processo no qual irá receber energia suficiente para que sofram hidrólise, obtendo-se então hidrogênio e oxigênio em seu estado elementar. O oxigênio é separado, e já que ele não tem funcionalidade no processo, pode ser dissipado na natureza ou ser transferido para uso em outros processos (MME,2021).

O hidrogênio obtido pode ser armazenado em tanques podendo estar em estado líquido ou gasoso. Após esta etapa o hidrogênio pode ser distribuído para ser utilizado tanto para combustível para veículos quanto para gerar energia elétrica, e por fim, ele volta para o meio ambiente agora em forma de energia (ENERGY, 2021).

O estudo do ciclo de vida do hidrogênio se faz necessário pois é por meio dele que serão identificados os processos e componentes que serão necessário e darão embasamento para a construção da cadeia valor do hidrogênio verde, tendo ênfase na indústria de eletrolise. Este ciclo está sumarizado por meio da figura 11.

Figura 11. Ciclo de vida do hidrogênio.

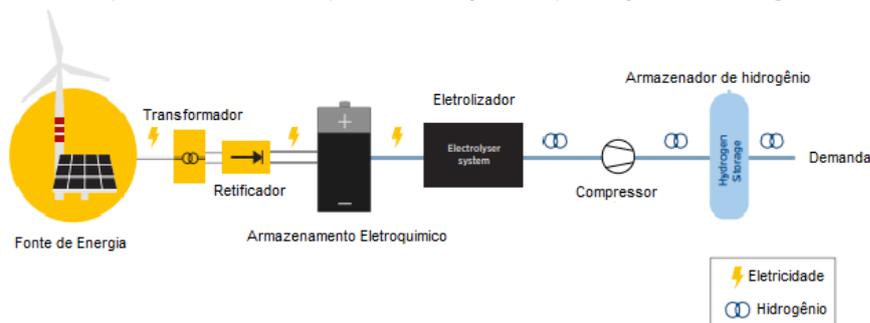


Fonte: Elaboração própria.

Na figura 12 está diagramado o fluxo do sistema de instalação da produção do hidrogênio verde, dando ênfase nas subetapas contidas no processo de fornecimento de energia para o eletrolisador, proveniente de uma fonte renovável.

A energia proveniente de fonte renováveis, seja energia solar e/ou energia eólica alimenta o transformador, alternando de corrente contínua para alternada, ela e encaminhada para um retificador e em seguida a energia chega no eletrolisador realizando a quebra das moléculas da água, tendo como subproduto hidrogênio.

Figura 12.Esquema do sistema para instalação de produção de hidrogênio verde.



Fonte: IRENA Adaptado, 2020.

5.2 DESAFIOS DO HIDROGÊNIO COMO FONTE DE ENERGIA NO BRASIL

O uso do hidrogênio verde como uma fonte de energia elétrica possui muitas lacunas, no Brasil ainda existem poucos projetos voltados para a geração de energia elétrica. Com isso, esta seção tem como objetivo mapear os principais desafios do uso do hidrogênio verde como fonte de energia elétrica, que auxilie nos próximos anos do suprimento energético e na descarbonização do setor industrial brasileiro.

Outros fatores como as metas governamentais para a diminuição do uso de fontes não renováveis na matriz energética brasileira, associada ao aumento de preços nos barris de petróleo, chegando a 100U\$ conforme dados da bolsa de valores dos Estados Unidos, ocasionados pela guerra entre Rússia e Ucrânia. Fizeram com que se potencializa-se a necessidade de fontes que sejam renováveis e que sejam capazes de auxiliar no suprimento da demanda de energia (Imvesting,2022).

Logo, tendo em vista o potencial do uso do hidrogênio verde para geração de energia, foi realizado um levantamento das principais barreiras que hoje impedem o desenvolvimento do hidrogênio no Brasil. Dentre essas barreiras identificadas, destacam-se a ausência de uma cadeia produtiva estruturada, o alto custo de produção, transporte e armazenamento.

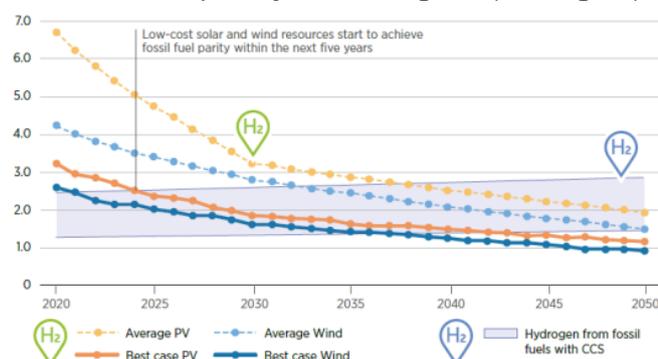
5.2.1 Custos de Produção, Armazenamento e Transporte.

O hidrogênio pode contribuir para revolucionar o sistema energético quando obtido por meio de fontes renováveis, fornecendo uma energia mais limpa e sustentável, desde a produção até sua utilização. Entretanto, uma das principais barreiras relacionadas com o uso do hidrogênio está associada ao seu custo de produção, e que pode variar conforme o método utilizado para produção do hidrogênio. O alto custo impacta diretamente no seu índice de competitividade frente as outras fontes energéticas (IRENA,2020).

Além de regulamentação e modelo de mercado que ainda estão nas etapas iniciais no Brasil, o custo de produção é um grande obstáculo para a absorção de hidrogênio verde para fins energéticos. Os custos estão caindo, em grande parte devido à queda dos custos de energia renovável, entretanto o hidrogênio verde ainda é duas a três vezes mais caro que o hidrogênio azul produzido a partir de combustíveis fósseis com captura e armazenamento de carbono emitido no processo produtivo, o que indica a que é necessário que haja reduções nos custos para que ele se torne efetivamente viável economicamente (IRENA,2020).

Conforme dados do estudo sobre o hidrogênio feito por IRENA no ano de 2020 há um cenário favorável para a utilização do hidrogênio, demonstrando uma queda no custo de produção do hidrogênio verde. Essa diminuição está associada ao avanço dos estudos e modernização da tecnologia utilizada, tornando-se cada vez mais acessível, ou seja, a redução do custo dos eletrolisadores e a energia renováveis cada vez mais barata. Esse cenário pode ocorrer conforme entre os anos de 2030 a 2040. A figura 13 sumariza os custos de produção fazendo uma comparação entre o hidrogênio a partir de energia solar, eólica e combustíveis fósseis com tecnologia de CCS (IRENA, 2020).

Figura 13. Custo de produção do hidrogênio (USD/kg H₂)



Fonte: IRENA, (2020).

Nos últimos anos o processo mais utilizado para obtenção de H_2 estar associado à rota preta ou marrom, em que se faz a utilização do carvão mineral. A tecnologia que oferece menor custo aos produtores está ligada à rota cinza por meio da utilização do metano. Conforme dados do IRENA 2020, a rota mais cara está ligada ao hidrogênio verde, pois a tecnologia associada a esse método, que consiste em eletrizadores, necessita de investimentos altos. No ano de 2020 um eletrolisador do tipo alcalino, que é utilizado no processo da rota verde custou cerca US\$ 800 kWh em escala de produção. Entretanto já existem estudos que demonstram que haverá uma redução de cerca de 85% no custo de produção do hidrogênio verde a longo prazo no Brasil, tendo em vista que sua matriz energética é composta por grande parte de fontes renováveis e isto poderá ser um destaque para o país (BNEF,2021).

Atualmente o valor para se produzir o hidrogênio verde, que é a principal rota que auxiliaria na descarbonização do planeta, custa em torno de 2,5 US\$/Kg, um valor consideravelmente alto e que o torna não atrativo economicamente. Entretanto, já existem projeções que indicam que no ano de 2050, o preço do hidrogênio poderá chegar em volta de 0,55 US\$/Kg. Essa queda estará associada com o avanço dos estudos sobre as tecnologias utilizadas durante o processo produtivo e no aumento do índice da utilização de fontes eólicas (BNEF,2021).

Quando se compara o hidrogênio verde com outras rotas de produção utilizando o hidrogênio, ainda há muitos desafios. No entanto, seus principais obstáculos estão associados ao alto custo atual na sua cadeia de valor, desde ao processo de eletrólise ao transporte, à ausência de infraestrutura existente para o transporte, acarretando altas perdas de energia e o armazenamento. E por fim, a falta de valor para o objetivo e benefício principal, que é a diminuição das emissões de GEE, que somente o hidrogênio verde pode oferecer no cenário atual do Brasil (IRENA, 2019, 2020).

5.3 DESAFIOS SOB A PERSPECTIVA DOS ATORES DO MERCADO DO HIDROGENIO VERDE.

Com a finalidade de identificar as principais lacunas e/ou dificuldades que atuam sobre o setor do hidrogênio verde no Brasil, foi desenvolvido um questionário composto por 12 perguntas voltadas para agentes do setor elétrico brasileiro, sejam eles órgãos públicos e/ou empreendimentos que possuam atuação em setores de

geração, transmissão, comercialização e consultoria de energia elétrica. Ou empreendimentos que possuam projetos de pesquisa em desenvolvimento sobre o uso do hidrogênio, produtores de hidrogênio e fabricantes de eletrolisadores.

Os participantes foram selecionados por meio da participação nos seguintes eventos Workshop Iniciativa de Mercado Minas e Energia, Workshop Diálogo 8: Hidrogênio para Transição Energética – Rotas de produção, tecnologias e os diferentes cenários no Brasil e o Workshop GT CCEE H₂. No qual foi realizado o convite para os membros participantes dos eventos que colaborassem com a pesquisa pública. Esta seleção de participantes do setor elétrico brasileiro, foi necessária tendo em vista que serão eles os responsáveis pela abertura, desenvolvimento e fortalecimento do mercado interno do H₂V para geração de energia elétrica.

As perguntas elaboradas neste questionário, podem ser encontradas no anexo A deste trabalho, que tiveram como finalidade verificar o tempo de atuação que estes órgão e empreendimento atuam no mercado do hidrogênio verde, identificar a visão destes detentores sobre a necessidade de políticas públicas para o avanço da indústria do H₂V no panorama nacional, validar a pesquisa teórica sobre a ausência de leis e normas que regulem a geração, o uso e a comercialização do hidrogênio verde para geração de energia elétrica no Brasil e por fim verificar quais são as principais ações pela visão dos detentores de interesse do H₂V que necessitam de maior prioridade do governo brasileiro para o avanço do mercado do hidrogênio verde.

A pesquisa pública teve um retorno de 10 colaborações, como todas as participações estavam dentro do universo amostral para a pesquisa, todas as contribuições entraram para a análise das respostas.

Nesta seção estão apresentados os resultados obtidos na pesquisa realizada por meio de um questionário e que teve como finalidade mapear as principais lacunas e/ou dificuldades identificadas pelos detentores de interesse no hidrogênio verde para geração de energia elétrica no Brasil. A seguir está descrita a caracterização das instituições e empreendimentos que participaram da consulta, e por fim o resultado de cada tópico .

A pesquisa foi realizada por meio da plataforma Forms do Google e contou com a participação de dez organizações, sendo elas sumarizadas no quadro 5:

Quadro 5. Caracterização dos entrevistados.

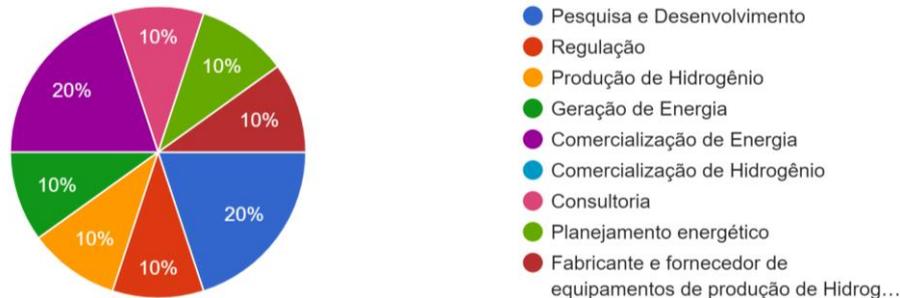
Instituição	Cargo	Setor de Atuação
Ministério de Minas e Energia – MME	Analista de Infraestrutura - Coordenador Geral de Comercialização de Energia	Governamental
WWF-Brasil	Engenheira de Energia	Pesquisa e Desenvolvimento
H2 Verde S.A	Diretor de Operações	Produção de Hidrogênio
Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL	Analista Administrativo	Governamental
John Cockerill Hydrogen	Business Developer	Fabricante de equipamentos para produção de hidrogênio.
Empresa de Pesquisa Energética - EPE	Superintendente Adjunto	Governamental
Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE	Assessor	Governamental
UNIFOR	Pesquisador	Pesquisa e Desenvolvimento
Avenir Transição Energética Ltda	Diretor	Consultoria
Companhia Paranaense de Energia – COPEL.	Engenheiro Ambiental Pleno	Geração de Energia

Fonte: Elaboração própria, 2022.

Os resultados da pesquisa demonstram que nove participantes responderam que suas organizações desenvolvem atividades sobre o uso do hidrogênio verde entre menos de um ano a cinco anos, ou seja, apontam para um mercado ainda recente principalmente quando o uso finalístico é voltado para geração de energia elétrica. Estes entrevistados atuam em diferentes seguimentos do mercado do hidrogênio verde, desde pesquisa e desenvolvimento até fabricação e fornecimento de equipamentos para a produção do H₂V. A

distribuição dos setores de atuação dos 10 participantes está sumarizada por meio da figura 14.

Figura 14. Percentual de participação no setor do H2V.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

A figura 14 demonstra que dentro do espaço amostral dos participantes obteve-se participação de todos os setores almejados no início da pesquisa, mesmo que em um quantitativo pequeno de participações, elas auxiliam para compreender melhor o status atual da cadeia produtiva do H₂V e suas lacunas.

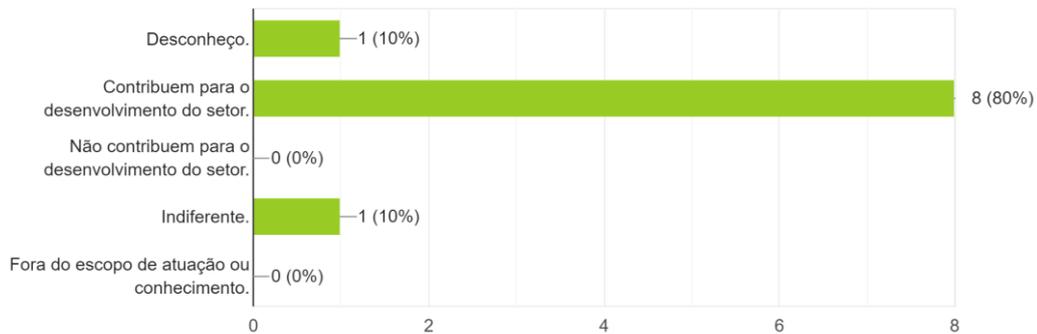
Das organizações que participaram da pesquisa, quatro atuam em atividades direcionadas a produção e/ou geração de energia elétrica proveniente do uso hidrogênio verde, sendo elas: Unifor, que possui projeto em status de P&D, H2 Verde S.A, possui projetos em status de P&D e MoU, a CCEE realiza pesquisas voltadas a certificação para a produção do H₂V e John Cockerill Hydrogen, que é fabricante e fornecedora de equipamentos de produção de hidrogênio, em especial eletrolisadores. Todos esses projetos têm como ênfase o uso do hidrogênio verde.

Com base na revisão bibliográfica desenvolvida no escopo deste estudo pode-se verificar o que o mercado brasileiro do hidrogênio ainda não está regulado. Atualmente existem apenas três resoluções elaboradas pela CNPE, que são as bases para o norteamiento do setor. Uma das perguntas elaboradas para a pesquisa estava direcionada sobre a importância das políticas e programas para o incentivo do uso do hidrogênio verde no Brasil para a geração de energia elétrica e a importância do Programa Nacional do Hidrogênio para o avanço da indústria do H₂V.

Na figura 15 pode-se verificar que 8 de 10 participantes ressaltaram que o aumento de programas e políticas públicas contribuem diretamente para o

fortalecimento do mercado, tendo em vista que elas promovem o aumento da base teórica, dando então maior confiabilidade e credibilidade para os empreendimentos investirem em projetos voltados para o uso do hidrogênio verde com ênfase em geração de energia elétrica.

Figura 15. Gráfico a importância de políticas públicas sobre o hidrogênio verde.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

Tendo em vista a importância de um mercado bem regulamentado e iniciativas que promovam maior confiabilidade para os empreendimentos investirem no uso do hidrogênio verde para geração de energia elétrica, foi solicitado aos participantes da pesquisa que eles pontuassem, numa escala de alternativas descritas a seguir, a importância do Programa Nacional do Hidrogênio – PNH2 para a indústria e para o avanço do mercado no Brasil. Foram selecionadas as seguintes alternativas:

- Auxilia na abertura e fortalecimento do mercado do H₂V;
- Auxilia no desenvolvimento de políticas públicas para o uso do H₂V;
- Incentivo ao aumento de fontes renováveis que auxiliem nos impactos ambientais e na descarbonização do setor energético;
- Na promoção e aceleração de estudos sobre as tecnologias utilizadas no processo produtivo.

No qual obteve-se as seguintes contribuições, pelos entrevistados no quesito a importância do Programa Nacional do Hidrogênio para a indústria e a abertura de mercado do H₂V no Brasil.

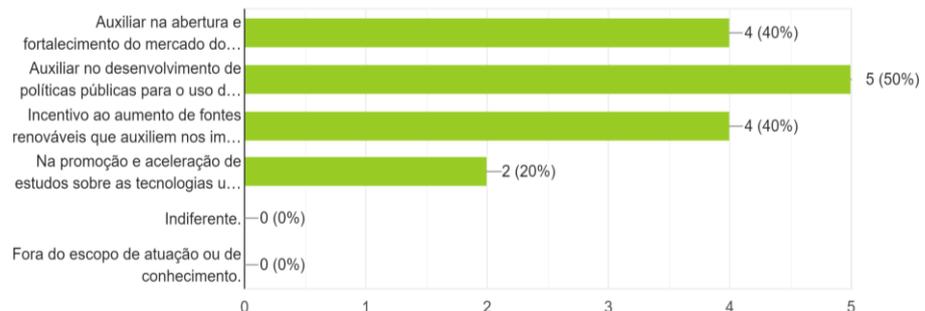
O representante do Ministério de Minas e Energia, a Empresa de Pesquisa Energética, a John Cockerill Hydrogen e a Agência Nacional de Energia Elétrica, responderam que o PNH2 auxilia na abertura e fortalecimento do mercado do H₂V.

O representante da Empresa de Pesquisa Energética indicou também, junto com a H2 Verde S.A, a promoção e aceleração de estudos sobre as tecnologias utilizadas no processo produtivo.

Os representantes da WWF-Brasil, da Avenir Transição Energética Ltda, da Companhia Paranaense de Energia, da John Cockerill Hydrogen e da Agência Nacional de Energia Elétrica indicaram que o PNH2 auxilia no desenvolvimento de políticas públicas para o uso do hidrogênio verde.

Os representantes da UNIFOR, da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, da John Cockerill Hydrogen e da Agência Nacional de Energia Elétrica responderam que o PNH2 contribui no incentivo ao aumento de fontes renováveis que auxiliem nos impactos ambientais e na descarbonização do setor energético. Estes dados podem ser visualizados por meio da figura 16.

Figura 16. Importância do PNH2 na indústria do hidrogênio verde.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

A cadeia produtiva consolidada é um dos fatores que podem contribuir diretamente para o aumento de investidores para o mercado do H₂V no Brasil, com isto foi perguntado para os entrevistados qual setor da cadeia produtiva em formação do hidrogênio verde no Brasil, estava bem regulamentado. Os resultados podem ser vistos na figura 17 e estão descritos individualmente a seguir.

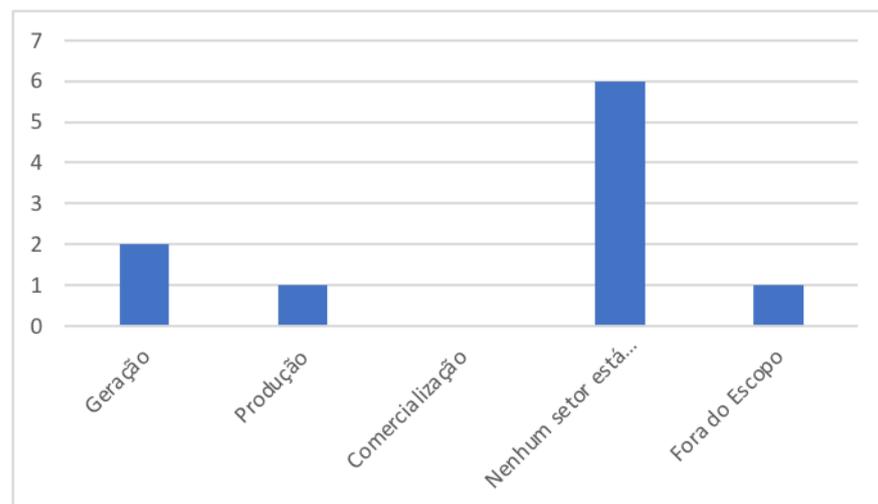
Para os representantes dos empreendimentos John Cockerill Hydrogen, H2 Verde S.A, Avenir Transição Energética Ltda, WWF-Brasil e dos órgãos Ministério

de Minas e Energia e Agência Nacional de Energia Elétrica na cadeia produtiva do H₂V, nenhuma área está bem regulamentada.

O representante da Empresa de Pesquisa Energética ressaltou que a produção e a geração estão regulamentadas, o representante da Unifor respondeu “produção”, o representante da Câmara de Comercialização de Energia respondeu “geração” e o representante da Companhia Paranaense de Energia informou que estava fora do escopo de atuação e/ou conhecimento.

Entretanto é importante destacar que para geração e produção a regulamentação existente é para o uso do hidrogênio, e não especificamente para o uso do hidrogênio verde, conforme relatado pelos entrevistados e verificado nos estudos desenvolvidos para este trabalho.

Figura 17. Regulamentação existente sobre cada setor da cadeia produtiva do hidrogênio verde.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

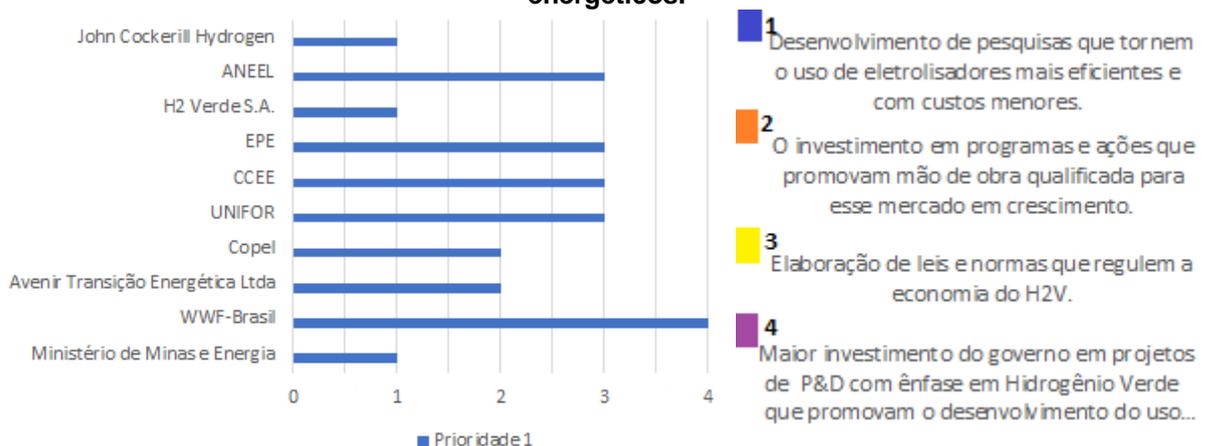
Com base nos levantamentos de dados da pesquisa anual também pode-se verificar que todos os quatro agentes que possuem projetos com o hidrogênio verde estão associados ao uso da eletrólise com energia solar fotovoltaica, ou eletrólise com energia eólica e/ou um conjunto das duas eletrólise com solar e eólica na produção do hidrogênio elementar.

Além disto foi solicitado que respondessem quais os pontos fortes ou fatores que tornam atrativos o uso do hidrogênio verde, para geração de energia elétrica, quatro dos entrevistados, sendo eles os representantes do MME, da WWF-Brasil, da COPEL e da John Cockerill Hydrogen a afirmaram que o principal

benefício do uso dessa fonte é a sua versatilidade de poder ser transformada em eletricidade ou combustível e ser utilizado com diversas finalidades como comerciais, industriais ou até mobilidade. Dois dos participantes, sendo eles os representantes da UNIFOR e da CCEE responderam que o fato de ser sustentável, partindo da premissa que o H₂V não emite gases poluentes no seu processo produtivo, torna-o muito atrativo. Dois dos participantes, sendo eles a AVENIR e a ANEEL, disseram que ele se torna atrativo por possui uma grande flexibilidade de ser obtido por meio de diversas fontes de tecnologia e dois dos participantes sendo eles representantes da EPE e a H2 Verde S.A, ressaltaram que ele não é atrativo para geração de energia, pois se tem outras opções mais competitivas, como e geração direta de energia eólica e solar.

Com a finalidade de mapear as principais ações que o governo deve direcionar sua atenção, foi solicitado aos participantes que dentre as alternativas listas que vai de 1 a 4, eles respondessem qual delas eles consideram a alternativa de maior prioridade para o governo brasileiro, considerando que esta alternativa impacta diretamente na abertura do mercado do hidrogenio verde no Brasil para geração de energia elétrica. As respostas obtidas estão sumarizados na figura 18.

Figura 18. Mapeamento das principais ações para o desenvolvimento do H₂V para fins energéticos.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

Com base no levantamento das respostas obtidas, pode se verificar que para o Ministério de Minas e Energia, a H2 Verde S.A e a John Cockerill a ação de prioridade máxima para o governo é alternativa 1 no qual a ênfase deve ser aumento de investimento para pesquisa e desenvolvimento sobre o hidrogênio verde, promovendo um aumento na base teórica e dando mais confiança aos investidores.

Entretanto para a Avenir e a Companhia Paranaense de Energia se faz necessário como prioridade que o governo invista em iniciativas e programas que forneçam ao mercado mão de obra qualificada que vai impactar diretamente no desenvolvimento do mercado do H₂V no Brasil. A alternativa 3 que está voltada para a necessidade de um mercado bem regulamentado, indica que se faz necessário a prioridade de leis e normas que regulem a geração, uso e comercialização do H₂V e foi a alternativa com maior número e considerada prioridade para a Empresa de Pesquisa Energética, a Agência Nacional de Energia Elétrica, a UNIFOR e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica.

E para a WWF- Brasil alternativa de maior prioridade é a 4 no qual a ênfase deve ser o desenvolvimento de pesquisas voltadas para o aumento da eficiência de eletrolisadores e a diminuição do custo impactando diretamente no custo final da energia gerado pelo hidrogênio verde.

E por fim, o mapeamento identificou, sob a perspectiva dos detentores de interesse, que os principais problemas que influenciam sobre o mercado do H₂V, de maneira decrescente, são o custo elevado associado ao seu processo produtivo, afetando diretamente o custo final da energia proveniente do H₂V; o desprovimento de um mercado consolidado, provocando insegurança nos investidores, tendo em vista o alto custo do produto; a falta de confiança em uma tecnologia inovadora e a necessidade de ser armazenado em altas pressões ou liquefeito.

Por isto, se faz necessário ressaltar que todas as lacunas e dificuldades identificadas por meio da pesquisa, tendo como parâmetro a percepção de alguns dos principais detentores de interesse sobre o H₂V, estão alinhadas com as dificuldades mapeadas por meio da revisão bibliográfica realizada neste estudo, sendo elas ausência de uma regulação para o mercado, a necessidade do fortalecimento das bases teóricas sobre o hidrogênio verde em especificamente voltado para dados do cenário do H₂V no Brasil, a necessidade em estudos de eficiente energética nos eletrolisadores tornando o mais competitivo e diminuindo o custo final da energia proveniente do H₂V.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O hidrogênio verde possui uma alta oportunidade de ser considerado nos próximos anos uma fonte elétrica que contribua com o suprimento da demanda de energia elétrica crescente no Brasil, tendo em vista o seu potencial de contribuir com a diminuição das mudanças climáticas e como consequência auxiliar no equilíbrio da temperatura global. Isto se dá principalmente pela caracterização da matriz elétrica brasileira, ou seja, o alto percentual de uso de fontes de energias renováveis, que se dá pela abundância em recursos naturais como o sol, o vento e a água disponíveis no país.

Entretanto, ainda são necessárias muitas iniciativas para o avanço do uso dessa fonte energética. Fatores como a ausência de uma cadeia produtiva consolidada, torna-o um mercado do hidrogênio verde incerto para os investidores. A definição e o mapeamento dos órgãos que serão responsáveis por regular, fiscalizar e controlar, conforme diagramado no escopo deste trabalho. Esta etapa foi importante, pois deu suporte para a identificação das ações realizadas pelo governo para o avanço do uso de hidrogênio verde no Brasil nos últimos anos.

O marco de ações voltadas para o hidrogênio verde em âmbito nacional se dá a partir do ano de 2002 com o ProH₂. Contudo é possível verificar que foi principalmente no ano de 2021 e no ano 2022, a partir da criação do Programa Nacional do Hidrogênio que começaram a aumentar os projetos e pesquisas. O programa demonstrou a versatilidade do hidrogênio, sendo ele capaz de ser utilizado em diversos segmentos da indústria, como combustível e/ou principalmente como fonte de energia elétrica.

Em nível mundial uma hipótese é que o aumento de incentivos nessa fonte se deu pela Guerra entre Ucrânia e Rússia, no qual os países que dependem de gás natural e de petróleo, ficaram sem alternativas para suprir as demandas energéticas de seus países. Com isto, surgiu-se a necessidade da adoção de novas fontes capazes de auxiliar no fornecimento de energia elétrica promovendo a adoção do hidrogênio verde como uma alternativa.

Com base na revisão bibliográfica desenvolvida neste estudo e na realização da entrevista com alguns dos principais detentores de interesse no H₂V, foi possível realizar um mapeamento das lacunas existentes sobre este mercado. Muitos destes fatores ainda estão em desenvolvimento ou possuem a necessidade deles serem

inicializados, como a consolidação da cadeia produtiva, a elaboração de leis e normas que determine diretrizes para a produção e geração de energia elétrica, a elaboração de uma certificação para empreendimentos que invistam no H₂V, dando ao investidor algum benefício, promovendo assim um aumento de projeto sobre o hidrogênio verde, seja para os setores de geração, de produção, de armazenamento e/ou de transporte, contribuindo para o fortalecimento das bases teóricas. O avanço de estudos direcionados à tecnologia utilizada para produção do H₂V, tornando então o custo final da eletricidade mais acessível e assim competitivo com as demais fontes de energia elétrica.

O investimento de empresas nacionais também se faz necessário, principalmente de empresas associadas ao mercado elétrico brasileiro, tendo em vista que são elas que poderão contribuir para que o uso do H₂V, seja para a produção de demanda elétrica ou para exportação do combustível. Atualmente grande parte das empresas que investem no Brasil, são estrangeiras, como por exemplo, a parceria Brasil-Alemanha, que investe em projetos que tem como uso finalístico a exportação do H₂V . Conforme dados da H2 Verde, “a Europa necessita de cerca de 3350 GW de energia renovável para que diminua sua demanda energética em gás natural e petróleo, sendo que a Europa só é capaz de produzir 20% deste valor até o ano 2050”. Esse fator faz com que os europeus invistam principalmente em projetos no Brasil para que possa ser produzido H₂V e exportado para os países europeus (H2 Verde, 2022).

Com isto, no Brasil o cenário mais favorável para a utilização do hidrogênio verde está voltado a solucionar problemas de descarbonização de setores de difíceis acesso como o transporte e para exportação principalmente pelo Porto de Pecém, pelo alto índice de investidores internacionais que buscam investir no Brasil para que ele se torne um produtor de H₂V para exportação. Isto se dá principalmente pelo fato do Brasil possui um alto índice de uso de fontes renováveis em sua matriz elétrica, e pelo crescimento de fontes de energia como eólica, que atualmente encontram dificuldade no escoamento da energia gerada pela ausência de linhas de transmissão, fazendo com que tornem necessário a ampliação do sistema de transmissão brasileiro. No escopo do setor elétrico brasileiro, no ano de 2022 o uso do hidrogênio se torna inviável tendo em vista o alto custo da energia quando comparado com as demais fontes energéticas atuantes sobre o mercado elétrico.

Entretanto, pode se futuramente optar pelo uso do hidrogênio verde como forma e/ou alternativa capaz de armazenar energia elétrica podendo assim solucionar um problema atual no setor elétrico principalmente associado a energia solar que é a necessidade de estocagem de energia em baterias.

7 BIBLIOGRAFIA

ABH2. **Sobre a ABH2**. 2017. Disponível em: <https://abh2.org/sobre>. Acesso em: 23 mar. 2022.

ANEEL. **Valores das bandeiras tarifárias são atualizados para o período 2022-2023**. 2022. ANEEL. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/valores-das-bandeiras-tarifarias-sao-atualizados-para-o-periodo-2022-2023>. Acesso em: 20 mar. 2022.

ATHANASIOU, Costas. **Electro-reduction of nitrogen oxides using steam electrolysis in a proton conducting solid electrolyte membrane reactor (H+-SEMR)**. 2010. Artigo. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/250926890_Electro-reduction_of_nitrogen_oxides_using_steam_electrolysis_in_a_proton_conducting_solid_electrolyte_membrane_reactor_H-SEMR. Acesso em: 06 maio 2022.

BARREAU, RAPHAEL. **Brasil reúne condições diferenciadas para o hidrogênio verde**. 2022. Disponível em: <https://www.alemndaenergia.engie.com.br/raphael-barreau-brasil-soma-condicoes-para-o-hidrogenio-verde/>. Acesso em: 23 mar. 2022.

BERNDT, Fábio Martins. **Estudo de regeneração de catalisador Cu-Co-Al para a produção de hidrogênio a partir do gás natural**. 2013. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/109167/000949639.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 02 abr. 2022.

BNEF. **BNEF: Brasil deve despontar como mercado global de hidrogênio verde**. 2021. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53193704/bnef-brasil-deve-despontar-como-mercado-global-de-hidrogenio-verde>. Acesso em: 02 ago. 2022.

BNEF. **Green hydrogen costs 'can hit \$2/kg benchmark' by 2030: BNEF**. 2021. Disponível em: <https://www.spglobal.com/commodityinsights/pt/market-insights/latest-news/coal/033020-green-hydrogen-costs-can-hit-2kg-benchmark-by-2030-bnef>. Acesso em: 03 maio 2022.

BOTELHO, Natália Oliveira dos Santos. **CONTRIBUIÇÕES DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO PARA AS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA À LUZ DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: UMA ANÁLISE DO PERÍODO 2005-2021**. Tese de doutorado. 2014. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-03122014-111107/publico/DissertacaoMestradoNataliaBotelho.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2022.

BRASIL ALEMANHA. **Especial Hidrogênio Verde**. 2021. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/d9/97/d9973c83-a742-4039-9e56-3e1c5dcba795/revistabrasilalemanha.pdf. Acesso em: 11 jan. 2022.

BRASIL. Decreto nº 10.223, de 21 de novembro de 2007. Institui o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima - CIM. **Diário Oficial da União**: seção 1,

Brasília, DF. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.223-de-5-de-fevereiro-de-2020-241828283>. Acesso em 14 mar. 2022.

BRASIL PREPARA-SE PARA INICIAR PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE. São Paulo: Revista Pesquisa Fapesp, v. 314, 07 abr. 2022.

CARVALHO, SANDRO DE ALVES. **Reforma a vapor do metano para produção de hidrogênio: estudo termodinâmico e protótipo de modelo matemático de reator com membrana.** 2005. Dissertação. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/15269>. Acesso em: 15 abr. 2022.

CEISE. **ONU reconhece Brasil como líder em energias renováveis.** 2021. Disponível em: <http://www.ceisebr.com/conteudo/onu-reconhece-brasil-como-lider-em-energias-renovaveis.html#:~:text=O%20Brasil%20%C3%A9%20%C3%ADder%20em,sucesso%20em%20acesso%20%C3%A0%20energia>. Acesso em: 03 maio 2022.

CGEE. **Prospecção tecnológica no setor elétrico brasileiro | Volume 8 | Agenda estratégica de CT&I no setor elétrico brasileiro (Versão 1.4).** 2017. Disponível em: https://www.cgee.org.br/busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=https%3A%2F%2Fwww.cgee.org.br%2Fbusca%3Fp_auth%3DfGlxyzx%26p_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D1%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_state_rcv%3D1&_101_assetEntryId=3005398&_101_type=document&inheritRedirect=false. Acesso em: 28 mar. 2022.

COLLOT, A., 2006, **“Matching gasification technologies to coal properties”**, International Journal of Coal Geology, v. 65, n. 3-4, pp. 191– 212. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166516205001229> .Acesso em 14 mar. 2022.

COMPLEXO DE PECÉM. **HUB DE HIDROGÊNIO VERDE DO COMPLEXO DO PECÉM.** 2021. Disponível em: <https://www.complexodopecem.com.br/hubh2v/>. Acesso em: 15 jul. 2022

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNACIONALE ZUSAMMENARBEIT GMBH. **Mapeamento do Setor de Hidrogênio Brasileiro.** 2021. Disponível em: <https://ahk-portalh2-prod-cdn.azureedge.net/uploads/2021/11/Mapeamento-H2-Diagramado-V2f.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2022.

DOMENICO, MICHELE DI. **GASEIFICAÇÃO DE CARVÃO MINERAL BRASILEIRO NA PRESENÇA DE ORTOSSILICATO DE LÍCIO VISANDO A PRODUÇÃO AUMENTADA DE HIDROGÊNIO.** 2013. Tese de doutorado. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/122608/325600.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 02 abr. 2022.

EDDEBBAR, Yassir A.; GALLO, Natalya D.; LINSMAYER, Lauren B. **The Oceans and the UN Framework Convention on Climate Change.** 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/lob.10059>. Acesso em: 28 abr. 2022.

EDP. **Projeto Piloto Pécem H2V**. 2021. Disponível em: <https://brasil.edp.com/pt-br/pd-pecem-h2v>. Acesso em: 04 maio 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Cenário sócio-econômico e demanda de energia**. 11 de Junho 2015. Apresentação de Power Point. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/pne_2050_workshop_fgv_eco_d_em_vf_110615_2.pdf. Acesso em: 10 jan. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Demanda de Energia 2050**: estudos da demanda de energia. Estudos da demanda de energia. 2016. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-458/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2022.

ENERGY. **Mapeamento do Setor de Hidrogênio Brasileiro**. 2021. Disponível em: https://www.energypartnership.com.br/fileadmin/user_upload/brazil/media_elements/Mapeamento_H2_-_Diagramado_-_V2h.pdf. Acesso em: 10 jul. 2022.

ENEGIX. **Enegix assina memorando para construção de planta de H2 no CE**. 2021. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53166615/enegix-assina-memorando-para-construcao-de-planta-de-h2-no-ce>. Acesso em: 22 ago. 2022.

EPBR. **Quem é e o que faz o CNPE?**. 2017. Newsletter. Disponível em: <https://epbr.com.br/quem-e-e-o-que-faz-o-cnpe/>. Acesso em: 23 abr. 2022.

EPBR. **Suape aprova 1º projeto de hidrogênio verde da Qair no Brasil**. 2022. Newsletter. Disponível em: <https://epbr.com.br/suape-aprova-1o-projeto-de-hidrogenio-verde-da-qair-no-brasil/>. Acesso em: 15 jul. 2022.

EPBR. **Fortescue anuncia US\$ 6 bi para produção de hidrogênio verde no Ceará**. 2021. Newsletter. Disponível em: <https://epbr.com.br/fortescue-anuncia-us-6-bi-para-producao-de-hidrogenio-verde-no-ceara/>. Acesso em: 20 ago. 2022.

ESTEVÃO, TÂNIA ESMERALDA RODRIGUES. **O Hidrogênio como combustível**. 2008. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/58102/1/000129289.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2022.

ESTRATÉGICOS, Centro de Gestão e Estudos. **Prospecção tecnológica no setor elétrico brasileiro: agenda estratégica de ct&i no setor elétrico brasileiro. Agenda estratégica de CT&I no setor elétrico brasileiro**. 2017. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/aneel_2017_8-8.pdf/ce6a0ec6-bcd8-4392-9875-435dabaf3566?version=1.4. Acesso em: 23 fev. 2022.

FEDERATIVE REPUBLIC OF BRASIL. **NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTION (NDC)**. 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Updated%20-%20First%20NDC%20-%20%20FINAL%20-%20PDF.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2021.

FRANCO, Ana Maria Gobbis. **PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE A PARTIR DA REAÇÃO DE DESLOCAMENTO GÁS ÁGUA**. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/33405/1/Produ%C3%A7%C3%A3oHidrog%C3%A2nioVerde.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2022.

FURNAS. **FURNAS inicia geração de hidrogênio pela primeira vez na sua história**. 2021. Disponível em: <https://www.furnas.com.br/noticia/103/noticias/1623/furnas-inicia-geracao-de-hidrogenio-pela-primeira-vez-na-sua>. Acesso em: 29 jul. 2022.

GOVERNO FEDERAL; MINISTERIO MINAS E ENERGIA; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **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). Acesso em: 10 fev. 2022.

GRANZIERA, Maria Luiza Machado; REI, Fernando. **ENERGIA E MEIO AMBIENTE: contribuições para o necessário diálogo**. Contribuições para o necessário diálogo. 2015. Disponível em: <https://www.unisantos.br/wp-content/uploads/2016/09/ENERGIA-E-MEIO-AMBIENTE.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2022.

HYTRON. **ELETROLISADORES DE ÁGUA**. 2022. Disponível em: <https://www.hytron.com.br/gases>. Acesso em: 09 ago. 2022.

IBERDROLA. **HIDROGÊNIO VERDE: o hidrogênio verde: uma alternativa para reduzir as emissões e cuidar do nosso planeta**. 2021. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/hidrogenio-verde>. Acesso em: 01 abr. 2021.

Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. 2003. **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia**. 3. Rio de Janeiro : INMETRO, 2003. p. 75. ISBN 85-87090-90-9.

INVESTING. **Petróleo global se apega a US\$ 100 por barril enquanto as exportações de petróleo dos EUA balançam**. 2022. Disponível em: <https://br.investing.com/news/commodities-news/petroleo-global-se-apega-a-us-100-por-barril-enquanto-as-exportacoes-de-petroleo-dos-eua-balançam-1030119>. Acesso em: 16 jul. 2022.

IPCC. **Mudanças Climáticas 2022: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade**. 2022. Disponível em: https://eesp.fgv.br/sites/eesp.fgv.br/files/ipcc_-_ar6_-_impactos_adaptacao_e_vulnerabilidade.pdf Acesso em: 28 fev. 2022.

IRENA, I. A. **Green Hydrogen: A guide to policy making**. International Renewable Energy Agency (IRENA), 2020. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2020/Nov/Green-hydrogen>. Acesso em: 02 ago. 2022.

IRENA. **Redução de custo de hidrogênio verde:** ampliação de eletrolisadores para atingir a meta climática de 1,5^o c. Ampliação de eletrolisadores para atingir a meta climática de 1,5 o C. 2020. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2020/Dec/Green-hydrogen-cost-reduction>. Acesso em: 04 maio 2022.

MACHADO, NAYARA. **Multiplicidade de rotas e usos desafiam regulação do hidrogênio no Brasil:** diálogos da transição. Diálogos da Transição. 2021. Disponível em: <https://epbr.com.br/multiplicidade-de-rotas-e-usos-desafiam-regulacao-do-hidrogenio-no-brasil/>. Acesso em: 23 mar. 2022.

MACHADO, NAYARA. **Regulação do hidrogênio: falta tudo, mas futuro é promissor.** 2021. Newsletter. Disponível em: <https://epbr.com.br/regulacao-do-hidrogenio-falta-tudo-mas-futuro-e-promissor/>. Acesso em: 23 mar. 2022.

MCTI. **PLANO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO PARA ENERGIAS RENOVÁVEIS E BIOCOMBUSTÍVEIS 2018 - 2022.** 2018. Disponível em: <https://www.inova.rs.gov.br/upload/arquivos/202006/16181759-plano-de-ciencia-tecnologia-e-inovacao-para-energias-renovaveis-e-biocombustiveis.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2022.

MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Hidrogênio Azul: Produção a partir da reforma do gás natural com CCUS.** 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-654/NT%20Hidrogenio%20Azul.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2022.

MINISTERIO DE MINAS ENERGIA e; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional de Energia 2050.** 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2022.

MINISTERIO DE MINAS ENERGIA. **Proposta de Diretrizes - Programa Nacional do Hidrogênio.** 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-apresenta-ao-cnpe-proposta-de-diretrizes-para-o-programa-nacional-do-hidrogenio-pnh2/HidrognioRelatriodiretrizes.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2022.

MINISTERIO MINAS E ENERGIA. **Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2): proposta de diretrizes. Proposta de Diretrizes.** 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-apresenta-ao-cnpe-proposta-de-diretrizes-para-o-programa-nacional-do-hidrogenio-pnh2/HidrognioRelatriodiretrizes.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2022.

OLIVEIRA, Rosana Cavalcante de. **PANORAMA DO HIDROGÊNIO NO BRASIL.** 2022. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11291/1/td_2787_web.pdf. Acesso em: 14 mar. 2022.

ONS. **O QUE É ONS?** 1998. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-ons/o-que-e-ons#:~:text=O%20Operador%20Nacional%20do%20Sistema,e%20regula%C3%A7%C3%A3o%20da%20Ag%C3%Aancia%20Nacional>. Acesso em: 23 mar. 2022.

ONU. **Plataforma de ação pelo clima lança guia para iniciantes sobre a COP 26.** 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/122398-plataforma-de-acao-pelo-clima-lanca-guia-para-iniciantes-sobre-cop-26>. Acesso em: 23 fev. 2022.

PACHECO, F. **Energias Renováveis: breves conceitos.** C&P, Salvador, v. 149, p.4-11, out. 2006. Disponível em: http://ieham.org/html/docs/Conceitos_Energias_renovaveis.pdf. Acesso em: 11 mar. 2022.

PAWELEC, Grzegorz; FONSECA, Joana. **Steel from Solar Energy.** 2020. Disponível em: <https://www.ees-europe.com/publications/steel-from-solar-energy>. Acesso em: 22 jun. 2022.

PEREIRA, LARISSA ANTONIA. **Viabilidade na produção de hidrogênio através da reação entre o alumínio e a água em meio alcalino.** 2017. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/20410/1/2017_LarissaAntoniaPereira_tcc.pdf. Acesso em: 23 mar. 2022.

PIEGAS, JULIA DIAS. **CUSTOS DE HIDROGÊNIO: PERSPECTIVAS NO LONGO PRAZO.** 2020. Disponível em: <https://gasenergy.com.br/custos-de-hidrogenio-perspectivas-no-longo-prazo/>. Acesso em: 06 abr. 2022.

PORTAL DO HIDROGENIO VERDE. **Políticas Públicas.** 2021. Disponível em: <https://www.h2verdebrasil.com.br/no-brasil/>. Acesso em: 28 abr. 2022

PORTO DO AÇU. **Fortescue Future Industries e Porto do Açu unem forças para desenvolver planta de hidrogênio verde no Brasil.** 2021. Disponível em: <https://portodoacu.com.br/fortescue-future-industries-e-porto-do-acu-unem-forcas-para-desenvolver-planta-de-hidrogenio-verde-no-brasil/>. Acesso em: 02 jun. 2022.

PROGRAMA ESTADUAL DE MUDANÇAS CLIMATICAS DE SÃO PAULO. **Conferência das Partes (COP).** 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/conferencia-das-partes-cop/>. Acesso em: 03 maio 2022.

PTI. **Inovação em H2: Consórcio entre PTI-BR e CIBiogás vem para acelerar projetos e startups na área de Hidrogênio Verde.** 2022. Disponível em: <https://www.pti.org.br/inovacao-em-h2-consorcio-entre-pti-br-e-cibiogas-vem-para-acelerar-projetos-e-startups-na-area-de-hidrogenio-verde/>. Acesso em: 02 ago. 2022.

RAJESHWAR, K.; IBÁÑEZ, J. G. Environmental Electrochemistry: **Fundamentals and Applications in Pollution Abatement.** San Diego Academic Press Inc. , 1997. 776 ISBN 978-0-12-576260-1. Acesso em: 02 abr. 2022.

RAJESHWAR, K.; MCCONNELL, R.; LICHT, S. **Solar Hydrogen Generation: Toward Renewable Energy Future**. 1a Ed. Nova York, Springer, 2008. 318 p. Acesso em: 10 abr. 2022.

SANDRA HARUMI FUKUROZAKI. **Avaliação do ciclo de vida de potenciais rotas de produção de hidrogênio: estudo dos sistemas de gaseificação da biomassa e de energia solar fotovoltaica**. 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-10102011-102047/pt-br.php>. Acesso em: 15 abr. 2022.

STIEGEL, G. J.; RAMEZAN, M. **Hydrogen from coal gasification: An economical pathway to a sustainable energy future**. International Journal of Coal Geology, v. 65, p. 173-190, 2006. Acesso em 14 mar. 2022.

TEIXEIRA, SERGIO JUNIOR. **Os planos do governo para o hidrogênio verde no Brasil**. 2021. Disponível em: <https://www.capitalreset.com/os-planos-do-governo-para-o-hidrogenio-verde-no-brasil/#:~:text=O%20governo%20brasileiro%20pretende%20apresentar,descarbonizar%20a%20economia%20do%20planeta>. Acesso em: 23 maio 2022.

UFPB. **Pesquisadores da UFPB desenvolvem catalisadores para produzir combustível do futuro**. 2020. Disponível em: <https://www.ufpb.br/ufpb/contents/noticias/pesquisadores-da-ufpb-desenvolvem-catalisadores-para-produzir-combustivel-do-futuro>. Acesso em: 10 ago. 2022.

UFPR. **Desenvolvimento de uma tecnologia para produção de combustível de aviação renovável a partir de biogás e hidrogênio verde em escala piloto**. 2022. Disponível em: <https://spin.ufpr.br/portfolio/projetos-financiados/desenvolvimento-de-uma-tecnologia-para-producao-de-combustivel-de-aviacao-renovavel-a-partir-de-biogas-e-hidrogenio-verde-em-escala-piloto/>. Acesso em: 20 ago. 2022.

YASSIR A. EDDEBBAR; NATALYA D. GALLO; LAUREN B. LINSMAYER. **The Oceans and the UN Framework Convention on Climate Change**. 2015. Disponível em: <https://cmbc.ucsd.edu/wp-content/uploads/sites/399/2015/11/Eddebbar-et-al.-2015-The-Oceans-and-the-UNFCCC.pdf>. Acesso em: 08 maio 2022.

8 APÊNDICE

Trabalho de Conclusão de Curso 2

"Estudo exploratório do Hidrogênio Verde para fins energéticos no Brasil nos anos de 2020 a 2022."

Autor (a): Natália Paula de Souza

Orientadora: Maria Vitoria Duarte Ferrari

- O questionário a seguir tem como finalidade levantar as lacunas e/ou dificuldades identificadas pelos detentores de interesse no uso do hidrogênio verde para geração de energia elétrica. Esta pesquisa tem fins meramente didáticos e está sendo desenvolvida no escopo do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Energia da estudante Natália Paula de Souza.
- **Observação:** Este questionário foi elaborado para detentores de interesse na cadeia produtiva do hidrogênio e que podem atuar em diferentes áreas e, portanto, nem todas as questões são pertinentes. Portanto, colocou-se, além da opção "outro(a)" – uma alternativa para o caso de a questão esteja fora do escopo da área de sua organização ou fora de sua área de conhecimento.

Nome:

Organização:

Cargo:

QUESTIONÁRIO

1. Sua organização atua:

() Pesquisa e Desenvolvimento

() Regulação

() Produção de Hidrogênio

() Geração de Energia

() Comercialização de Energia

() Comercialização de Hidrogênio

() Outros:

2. Sua organização desenvolve atividades no setor do hidrogênio há?

() Menos que um ano.

() De 1 a 5 anos.

() De 6 a 10 anos.

() Acima de 10 anos.

3. Caso sua organização atue na produção e/ou geração utiliza o hidrogênio:

- Cinza
 - Azul
 - Verde
 - Fora do escopo de atuação.
4. Caso sua organização atue na produção e/ou geração de energia proveniente do hidrogênio verde, em que status se encontra?
- P&D
 - MoU
 - Outro:
 - Fora do escopo de atuação.
5. Há quanto tempo sua organização desenvolve atividades sobre o uso do hidrogênio verde?
- Menos que um ano.
 - De 1 a 5 anos.
 - De 6 a 10 anos.
 - Acima de 10 anos.
6. Na sua opinião sobre as políticas e programa de incentivo ao uso do hidrogênio no Brasil:
- Desconheço.
 - Contribuem para o desenvolvimento do setor.
 - Não contribuem para o desenvolvimento do setor.
 - Indiferente.
 - Fora do escopo de atuação ou conhecimento.
 - Outros:
7. Na sua opinião qual setor da cadeia produtiva em formação do hidrogênio verde no Brasil, está bem regulamentado?
- Geração

- Produção
- Comercialização
- Outros:
- Fora do escopo de atuação ou conhecimento.

8. Caso trabalhe com produção de energia:

Dentre as tecnologias existentes para produção de hidrogênio qual a empresa optou?

- Eletrólise com Energia Solar Fotovoltaica
- Eletrólise com Energia Eólica
- Reforma-Vapor
- Gaseificação
- Outros:
- Fora do escopo de atuação.

9. Considerando que no Brasil, a cadeia produtiva do hidrogênio verde ainda não está consolidada, elenque de 1 a 4, de maneira sequencial, o que você considera ser a ordem de prioridade para o desenvolvimento do uso do hidrogênio verde para fins energéticos. Coloque como 1 a maior prioridade e a 4 a menor prioridade.

Maior investimento do governo em projetos de P&D com ênfase em Hidrogênio Verde que promovam o desenvolvimento do uso deste combustível.

O investimento em programas e ações que promovam mão de obra qualificada para esse mercado em crescimento.

Elaboração de leis e normas que regulem a economia do H₂V.

Desenvolvimento de pesquisas que tornem o uso de eletrolisadores mais eficientes e com custos menores.

10. Em sua opinião qual ou quais fatores tornam atrativos o uso do hidrogenio verde para geração de energia elétrica no Brasil?

A versatilidade de poder ser transformado em eletricidade ou combustível e ser utilizado com diversas finalidades comerciais, industrial ou mobilidade.

Ser sustentável, partindo da premissa que o hidrogênio verde não emite gases poluentes no seu processo de produção.

A flexibilidade de ser obtido por meio de diversas fontes tecnológicas.

Outros.

11. Em sua opinião qual a importância do Programa Nacional do Hidrogênio – PNH2 para indústria do hidrogênio verde?

Auxiliar na abertura e fortalecimento do mercado do H₂V.

Auxiliar no desenvolvimento de políticas públicas para o uso do hidrogênio verde.

Incentivo ao aumento de fontes renováveis que auxiliem nos impactos ambientais e na descarbonização do setor energético.

Na promoção e aceleração de estudos sobre as tecnologias utilizadas no processo produtivo.

Indiferente.

Fora do escopo de atuação ou de conhecimento.

12. Elenque os itens de 1 a 4, de maneira sequencial, o que você considera ser a ordem do mais grave, sendo 1 para menos grave, sendo o 4 o mais grave, dos problemas atuais identificados quando se analisa o uso do hidrogênio verde para fins energéticos no Brasil.

O desprovimento de um mercado consolidado, provocando insegurança nos investidores tendo em vista o alto custo do produto final.

A falta de confiança em uma tecnologia inovadora, que ainda não há garantias de sucesso.

A necessidade de ser armazenado em altas pressões ou liquefeito.

O custo elevado associado ao seu processo de produção afetando diretamente o custo final da energia proveniente do H₂V.