



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Camila Luciana Silva de Mesquita

**Hidrogênio verde, uma alternativa promissora em solos brasileiros:
Uma revisão bibliográfica**

João Pessoa
2022

Camila Luciana Silva de Mesquita

**Hidrogênio verde, uma alternativa promissora em solos brasileiros:
Uma revisão bibliográfica**

Trabalho Final de Curso apresentado à coordenação do Curso de Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências requeridas obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof^ª Dr^a Andrea Lopes de Oliveira Ferreira

João Pessoa
2022

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M582h Mesquita, Camila Luciana Silva de.
Hidrogênio verde, uma alternativa promissora em
solos brasileiros: Uma revisão bibliográfica / Camila
Luciana Silva de Mesquita. - João Pessoa, 2022.
40 f. : il.

Orientação: Andrea Lopes de Oliveira Ferreira.
TCC (Graduação) - UFPB/Tecnologia.

1. Hidrogênio verde sustentabilidade Brasil
Eletrólise. I. de Oliveira Ferreira, Andrea Lopes. II.
Título.

UFPB/CT/BSCT

CDU 66.01(043.2)

Camila Luciana Silva de Mesquita

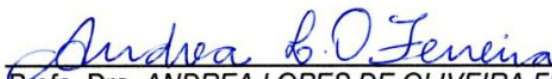
**Hidrogênio verde, uma alternativa promissora em solos brasileiros:
Uma revisão bibliográfica**

Trabalho apresentado à coordenação do Curso de Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências requeridas para a aprovação do trabalho final de curso e obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

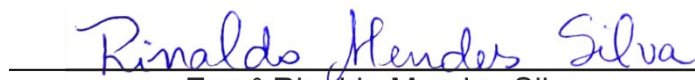
Orientadora: Prof^a Dr^a Andrea Lopes de Oliveira Ferreira

Aprovado em: 01/07/2022

Banca Examinadora


Profa. Dra. ANDREA LOPES DE OLIVEIRA FERREIRA
(DEQ/CT/UFPB)
(Orientadora - DEQ/CT/UFPB)


Eng. Jefferson Alex Veríssimo da Silva
(Examinador – PPGEQ/CT/UFPB)


Eng.º Rinaldo Mendes Silva
(Examinador - PPCEM / UFPB)

**“A destruição da natureza resulta da ignorância, cobiça e ausência de respeito
para com os seres vivos e o planeta”**

Dalai Lama

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer as forças superiores universais por ter me permitido chegar até aqui.

Gostaria também de agradecer a única pessoa que me apoiou, quando eu achei que tinha perdido o meu futuro por ser mãe adolescente, mas este pai-fessor (sim porque para mim ele foi um pai) me encorajou a continuar e sei que de onde ele estiver, ele estará feliz por mim, meu querido professor de Português do ensino Fundamental Jovelino dos Santos Sardinha Filho.

Ao meu filho, Ryan Martín, por ter sido compreensivo mesmo sendo tão jovem, me apoiando nos momentos difíceis, aturando meus estresses, cansaços e também minha ausência, já que precisei trabalhar e estudar para nos sustentar.

À minha mãe e minha avó que desacreditaram que eu conseguiria chegar lá e realizar meu sonho de ser engenheira química. Embora desnecessário, me motivou a não desistir e provar que eu sou capaz. E mesmo que no início da minha jornada não tenha me dado apoio nem suporte, agradeço à minha mãe por ter contribuído com um teto, durante alguns anos.

À minha orientadora, Andrea, que me acolheu, me deu broncas quando necessário e apoiou em um dos momentos mais difíceis da minha graduação. Sem ela, com certeza eu não teria conseguido.

Aos professores do DEQ/UFPB Josilene Cavalcante e Nagel Costa que foram sempre solícitos em especial a professora Josi que sempre foi uma das poucas que levaram um pouco de humanidade ao curso de engenharia química.

Aos meus amigos do Rio de Janeiro que seguraram na minha mão, mesmo de longe e me fizeram entender que eu não estava sozinha: Flávio Moura, Italo Monteiro, Marcelle Vergínio, Felipe Mattos, Maria Clara Oliveira, Rodrigo Svaiter, Pérola e Candida Ribeiro, Pedro Henrique Nogueira, Luis Felipe Américo.

Aos amigos que fiz na UFPB, dos mais diversos estados brasileiros, que fizeram a minha jornada acadêmica e pessoal menos pesada: Fagner Lourenço, Jayne Santos, Joaldo Garcia, Joicy Ferreira, Jefferson Veríssimo, Manoel Teodoro, Pedro Henrique Oliveira, Rodrigo Marinho, Julliendryus Andre, Brenda Ohana, Rinaldo Mendes, Mayara Alves, Priscila Santos,

Adriana Lauretino, Tiago Costa, Everton da Paz, Rayane Barros, Daniel Arnóbio, Daniel Jackson da Costa, Maria Helena Juvito e José Eduardo Castro.

Ao pessoal do LASOM-DQ UFPB, que foram solícitos e se dispuseram a me ajudar com o meu PIBIC mesmo não sendo do departamento: Professor Dr. Cláudio Gabriel e Dr^a Maísa Cavalcante.

Em especial, Grazielle Ribeiro e Joana Angélica que foram cruciais para que eu voltasse a acreditar no meu próprio potencial e Thiago Marinho, meu menino prodígio, que infelizmente pertence à um outro plano desde 2019, mas que me inspirou e me fez de inspiração. Me fez enxergar que não dava para eu comparar minha realidade com a dos demais e que tudo tem seu tempo.

Aos seres especiais que encontrei pelo caminho como Paulo Roberto Facin, que nunca mediu esforços para ajudar eu e meu filho. Cristiane Raiff, Juliana Cavalcante, Isabelli ,que se tornaram grandes amigas e Thamyris Capela por ter me acolhido, me aconselhado. Gabriela Ribeiro, por ter me aturado esse tempo na Ambev sempre tendo atenção e cuidado comigo.

Ao pessoal da Escola Piloto de Engenharia, Júlia Campos, Jadson Gonçalves, Davi Lima, Thiago Abrantes, Luana Addobbadi e Luana Leite, por me darem a honra de pertencer a uma equipe que me desenvolveu muito como ser humano e profissional.

E claro, à UFPB,que me permitiu concluir meu curso e à melhor secretária acadêmica do mundo : Rafaelle de Freitas, por ser humana e atenciosa com os alunos desta instituição.

Ao meu pai que, mesmo não sendo presente,foi o primeiro a ir comigo na primeira instituição de ensino que estudei (PUC-Rio).E à minha irmã Tainara, pois me tinha como referência e acreditou que eu conseguiria passar pelas turbulências, me ouviu por diversas vezes quando eu me sentia sozinha e mesmo sendo fria, em alguns momentos tentou se importar.

Às minhas primas Priscilla e Andrezza Mesquita que fizeram parte da minha infância e quando adultas, mesmo de longe, tentavam manter contato. À minha tia Adriana que me recebeu como sua sobrinha e junto ao meu tio Marcos auxiliou meu pai nos momentos em que não pude estar por perto.

Por último, mas não menos importante, tenho uma profunda gratidão à minha terapeuta Rosália que me encontrou em um estado crítico, mas conseguiu me fazer reerguer. Foi além da

sua consulta, me ajudando com minha mãe doente num momento em que eu não tinha como pedir socorro a mais ninguém

RESUMO

A mitigação de emissão de gases de efeito estufa (GGE) vem se tornando destaque ao longo das últimas décadas, por causa das diversas reuniões e encontros sobre emissões realizados pela ONU e outras organizações. Com isso, dados sobre o aquecimento global de 1,5 °C/ano que vem preocupando cientistas de todo o mundo, veio como fator decisivo para a migração energética das nações para fontes renováveis, reduzindo assim a emissão de gases de efeito estufa, emitidos principalmente pelas grandes indústrias e setores energéticos. Assim, este trabalho realizou revisão bibliográfica sobre a principal fonte energética cotada como promissora na redução de emissões de gases de efeito estufa: o hidrogênio verde. Além disso, este trabalho apresenta fontes desta produção, custos e o lugar do Brasil nesta produção. A revisão bibliográfica contou com os seguintes descritores escolhidos para a busca: hidrogênio verde, hidrogênio, combustível, energia, eletrólise e Brasil. Aplicando de maneira síncrona os descritores com os operadores booleanos, tem-se as formações, hidrogênio verde AND combustível, Hidrogênio verde AND Brasil, hidrogênio AND combustível, hidrogênio AND energia, hidrogênio AND Brasil, hidrogênio AND eletrólise. A base de dados escolhida para a investigação foi a Web of Science, uma vez que a Universidade Federal da Paraíba possui convênio para a disponibilização dos artigos através da plataforma Periódicos CAPES. Como critérios de exclusão adotados: trabalhos anteriores a 2020, trabalhos que não continham fontes renováveis para a produção de energia, hidrogênio como fonte energética ou que não fosse produto final, trabalhos que não apresentassem processos de produção de hidrogênio e pesquisas que não utilizassem o hidrogênio como combustível. Também foram analisados os títulos das obras, para que fosse verificado a semelhança ou importância para o trabalho. Foram encontrados 29 trabalhos e, após a aplicação dos critérios de exclusão, resultaram 18. Foram escolhidos 10 autores de grande relevância para esta pesquisa.

Palavras-chave: Hidrogênio verde, sustentabilidade, Brasil, Eletrólise.

ABSTRACT

The mitigation of greenhouse gas (GGE) emissions has become a highlight since 2020 due to the meetings held by the UN and other organizations. Thus, data on global warming of the 1.5 °C increase /year that has been worrying scientists around the world came as a decisive factor for the energy migration of nations to renewable sources, thus reducing the emission of greenhouse gases, emitted mainly by large industries and energy sectors. Hence, this study carried out a literature review on green hydrogen's major energy source cited as promising in reducing greenhouse gas emissions. In addition, this study presents sources of this production, costs, and the place of Brazil in this production. The bibliographic review had the following descriptors chosen for the search: green hydrogen, hydrogen, fuel, energy, electrolysis, and Brazil. Applying the descriptors synchronously with the Boolean operators, we have the formations, green hydrogen AND fuel, green hydrogen AND Brazil, hydrogen AND fuel, hydrogen AND energy, hydrogen AND Brazil, and hydrogen AND electrolysis. The database chosen for the investigation was Periódicos Capes since the Federal University of Paraíba has an agreement for the availability of articles. As exclusion criteria adopted articles: before 2020 that did not contain renewable sources for energy production, hydrogen as an energy source or that was not a final product, that did not present hydrogen production processes, and research that did not use hydrogen as fuel. Also, the article titles were analyzed to verify the similarity or importance of the study. In total, 29 articles were found, and after applying the exclusion criteria, 18 were found. As a result, 10 authors of great relevance for this research were chosen.

Keywords: Green hydrogen, sustainability, Brazil, Electrolysis.

LISTA DE SIGLAS

GEE - Gases de Efeito Estufa

COP 26 - Conferência das Partes da Convenção 26ª edição

CO₂ - Dióxido de Carbono

CH₄ - Gás Metano

H₂- Hidrogênio

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

ECO-92 - Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento

IEA - International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

PHC - Pequena Central Hidrelétrica

GHC - Central Geradora Hidráulica

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Reportagem sobre o calor excessivo no Rio de Janeiro: Jornal O Globo(1984) ...	18
Figura 2 - Reforma de vapor para a produção de hidrogênio	21
Figura 3 - Eletrólise da água	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -Poder calorífico de diferentes combustíveis.....	20
Tabela 2 -Trabalhos encontrados nas bases de dados utilizando os descritores e os operadores booleanos.....	30
Tabela 3 - Trabalhos separados após os critérios de exclusão	31

SUMARIO

1 INTRODUÇÃO	13
2.1 Objetivo geral.....	14
2.2 Objetivos específicos	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1 Histórico energético	15
3.2 Hidrogênio	19
3.2.1 Reforma do gás natural e outros hidrocarbonetos.....	21
3.2.2 Produção microbiológica	22
3.2.3 Eletrólise da água.....	23
4 METODOLOGIA.....	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
6 CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

O hidrogênio é um elemento químico de fórmula molecular H_2 . Foi titulado desta forma em 1773, por Antoine Lavoisier, onde a palavra hidrogênio deriva do grego *hydro* e *genes*, e significa gerador de água. É o componente mais abundante do universo e é encontrado no planeta Terra na forma de composto (aproximadamente 70% da superfície) exclusivamente como gás (LANARDI, 2008). Para extrai-lo, a técnica de transformação necessita de intervenção humana com processos químicos específicos (SANTOS & SANTOS, 2005). É um combustível poderoso, visto que é dotado de uma alta concentração de energia por unidade de massa e não gera gas estufa em sua combustão (FERNANDES, 2008).

Esta substância pode ser transformada por meio de diversas rotas, sendo a mais comum: eletrólise da água. Porém, a energia requerida para a eletrólise tem origem em outras matrizes energéticas que, em geral, eram fósseis como o gás natural. A origem desta energia fornecida para a obtenção do hidrogênio é responsável pela sua classificação, segundo Bezerra (2021):

- Com a procedência fóssil e seu processo envolva captura e armazenamento em subsolo, chama-se **hidrogênio azul**;

- Se for obtido através de fontes não renováveis e emita carbono na atmosfera, é denominado **hidrogênio cinza**;

- Quando a matriz energética é um biocombustível ou biomassa, através de reforma catalítica, gaseificação ou digestão anaeróbia temos **hidrogênio musgo**;

- Quando este é adquirido através da eletrólise da água e a fonte energética desse processo vem de fontes renováveis, é nominado **hidrogênio verde**.

Os estudos sobre hidrogênio como fonte energética foram iniciados por volta de 1840. Contudo, as aplicações foram voltadas para processos específicos como: refino de petróleo e produção de amônia, o que não foi muito útil em questão de descarbonização de processos, segundo Gurllit et al. (2021). Com os anos foi possível observar as consequências destas emissões como o aumento do aquecimento global, o derretimento de calotas polares (SERRA, 2007), além disso, mais uma vez, o mundo se deparou com uma crise energética em 2020.

O ano de 2020 foi marcado na história de várias formas. Uma delas foi a pandemia do COVID-19, onde a humanidade parou suas atividades por conta do vírus. O cenário foi avassalador, chegando a 8.374 mortos em abril de 2020 e atingiu o número de 6,2 milhões de mortes em 2022, segundo o relatório gerado por Richie et al.(2022). Com isso, os países tiveram, além das baixas humanas, uma quebra significativa em diversos segmentos, o que afetou a economia mundial. Segundo o Banco Mundial, em seu relatório publicado no ano de

2020, a previsão da queda econômica para 2020 era de 5,2%, sendo considerada a pior recessão desde a segunda guerra mundial.

Junto à crise sanitária, houve também uma crise energética, onde houve a redução do valor do barril de petróleo vendidos pela Arábia Saudita, que ocasionou na falência de diversas empresas do ramo. Esta crise energética foi um propulsor para que o mundo retomasse seu olhar às outras fontes de energia e combustível. Logo, os grandes detentores da economia mundial, finalmente iniciaram uma corrida às matrizes alternativas e junto a este fato, vem sendo explorada a redução da emissão de carbono, o que não é uma novidade. Contudo foi intensificada uma vez que os combustíveis fósseis/setor energético são detentores das maiores emissões de gases de efeito estufa, principalmente o dióxido de carbono CO₂ (Climate Watch Data, 2022).

Outro fator que foi relevante para a mudança do “*mindset*” mundial foram os resultados apresentados pelos ambientalistas na COP 26, que resultou com uma meta limite da temperatura global em 1,5 °C até 2100. Embora este valor não seja tão significativo aparentemente, isso fez com que o hidrogênio verde fosse apontado como a principal fonte energética sustentável para o futuro. Com isso, este trabalho apresenta uma pesquisa exploratória visando estimar o conhecimento sobre o hidrogênio verde, descarbonização da economia e verificar quais são os processos mais promissores para esta produção.

A COP 26 (Conferência das Partes da Convenção) ocorrida no ano de 2021, também focou suas atividades em acordo entre as nações de redução de emissão de carbono. Este fato foi reforçado pelos indianos que sugeriram meios alternativos de produção energética. Com isso, as nações voltaram sua atenção para a forma energética que menos emite CO₂: o hidrogênio verde, pois ele se mostra bastante eficiente em questão energética e também possui potencial em modo combustível (NEGRO *et al.*, 2021). Sendo assim, este estudo apresenta de maneira teórica a produção, os benefícios da produção e a visão da comunidade tanto acadêmica quanto do mercado sobre este tema, que aparentemente, se tornou uma esperança para a conciliação da produção humana e o meio ambiente. Este estudo também objetiva estimular estudantes de engenharia a trabalharem neste nicho, já que o papel dos engenheiros e cientistas nesta jornada é trabalhar em formas mais baratas e armazenamentos mais eficientes deste produto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Fazer um levantamento sobre o conhecimento do hidrogênio verde e apresentar a situação brasileira dessa produção.

2.2 Objetivos específicos

- Fazer uma revisão bibliográfica sobre as fontes renováveis de energia publicadas entre os anos 2020 à 2022;
- Verificar as produções sobre o hidrogênio verde no Brasil;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Histórico energético

Sustentabilidade é um tema muito amplo, por se tratar de forma para manter a união entre a produção humana e a natureza, com o intuito de equilibrar os benefícios humanos, mas também prover a saúde do planeta. Deste modo, diversos setores devem se unir neste assunto: setores econômicos, ambientais, engenharias, sociais, juristas e ecologistas (MAIDANA & BARBOSA, 2009). O fator econômico ganha bastante destaque, em virtude de ser o que rege as nações, sendo assim, o elemento decisivo quando alguma medida precisa ser tomada (ALMEIDA, 2021).

Um dos indicadores de desenvolvimento econômico das nações ocorre através do consumo de energia *per capita*, em outros termos, a partir dos recursos energéticos tem-se a noção do desenvolvimento e estabilidade econômica de um país (ARAÚJO, *et al.*, 2020). Além disso, a sociedade moderna utiliza a energia para satisfazer necessidades básicas como calor para cozinhar, eletricidade para iluminar suas casas ou manter suas refeições refrigeradas, bem como as produções industriais que auxiliam a suprir suas indispensabilidades. A questão mais complicada é aplicar uma fonte energética que consiga atender a demanda global sem afetar o meio ambiente, ou pelo menos, cause menos danos e seja viável economicamente (NEGRO, *et al.*, 2021). Daí, pode-se entender o porquê da demora da transição energética para fontes renováveis, já que a energia oriunda de fontes fósseis já possui processos bem estruturados de produção e relativamente baratos, além de atender a alta demanda de consumo humano. Estas fontes energéticas emitem uma grande quantidade de gases de efeito estufa (GEE) como por exemplo o dióxido de carbono (CO_2) e o gás metano (CH_4), o que vem aumentando o aquecimento global de maneira exorbitante. Segundo a *Climate Watch*, a quantidade de emissões de GEE em 2016 no setor energético, obteve um total global de 73%.

Atualmente, o aquecimento global atingiu a temperatura de 1,1 °C e embora este número pareça insignificante, ele já causa danos à natureza como o derretimento das calotas polares e consequentemente, o aumento do nível do mar (SERRA, 2007). Estes impactos foram previstos pelo físico francês Jean-Baptiste Fourier em 1824, onde apresentou em primeira mão o conceito de efeito estufa. Neste estudo, Fourier afirmou que seria possível o aumento da temperatura da Terra, em razão do fenômeno da energia luminosa ser transformada em energia térmica. Posteriormente, o cientista John Tyndall identificou em laboratório que mudanças na quantidade de qualquer constituinte da atmosfera (como o CO_2), provocavam mudanças climáticas (LAHSEN, 1998; LE TREUT *et. al*, 2007). Então, em 1896, o químico Svante

Arrhenius conseguiu calcular a quantidade de CO₂ na atmosfera e percebeu que ela havia aumentado, ademais, concluiu que este aumento poderia atingir entre 5 °C e 6 °C (VELTRONE, 2017). Vários anos se passaram e somente em 1916, Arrhenius conseguiu correlacionar os efeitos do aumento da temperatura da Terra com a atividade humana, onde considerou a queima do carvão. Porém, mesmo apresentando suas teorias e cálculos, Arrhenius foi ignorado, devida a inconclusão de algumas equações, seu estudo só foi comprovado em 1938, pelo engenheiro Guy Callendar quando ele conseguiu encontrar as soluções das equações deixadas por Arrhenius (BESSAT, 2003; LAHSEN, 1998; LE TREUT et. al, 2007).

Após isso, o clima começou a ser estudado, e assim, os cientistas deram início a uma correlação social dos efeitos de seus estudos. Em 1945, houve a criação da Organização das Nações Unidas (ONU). Finalmente a necessidade de encontros internacionais com estudiosos climáticos para orientação e dimensionamento dos problemas encontrados foi posta. Surgiu então, em 1972, o encontro de Estocolmo, onde foi discutida a possibilidade de uma nova Era Glacial (SCHOICHET, 1988).

Após isso, começaram a criar diversos encontros com focos específicos:

- Conferência das Nações Unidas no Quênia- 1977 -Desertificação;
- Primeira Conferência Mundial de Clima- 1979 - Mudança climática;
- Conferência de Villach - 1985 - Aquecimento Global (surgiram políticas de mitigação).

A conferência de Villach ocorreu depois de uma onda de calor extrema em diversas partes do planeta entre 1983 e 1985. Foi então, que finalmente o mundo começou a entender o que os cientistas diziam e sentiram na pele as consequências da poluição. O ano de 1983 foi considerado um dos anos mais quentes da história, o que confirmou as previsões de Fourier, trazendo à tona um perigo iminente para a sociedade. A partir disso, houve a primeira conferência sobre o efeito estufa, em Villach, na Áustria, no ano de 1985. A Figura 2 abaixo apresenta a notícia sobre o calor, emitida em um jornal carioca (O GLOBO), em 1984.

Figura 1- Reportagem sobre o calor excessivo no Rio de Janeiro: Jornal O Globo(1984).

Calor no Rio bate todos os recordes: 42.5 graus

A temperatura máxima de ontem, 42.5 graus à sombra em Bangu, bateu o recorde de calor no Rio desde a criação da antiga Diretoria de Meteorologia em 1921. Até ontem, a temperatura mais alta na cidade havia sido verificada há 37 anos e 29 dias, a 14 de dezembro de 1946, com 42.2 graus no Engenho de Dentro.

O Serviço de Meteorologia informou que a alta temperatura foi causada pela chamada situação de bloqueio, com um sistema de altas pressões que se estabeleceu sobre metade da América Latina e, no Brasil, abrangendo do Nordeste a Santa Catarina. A meteorologista Marlene Bezerra explicou que esse bloqueio é comum no verão e deverá continuar nos próximos dias.

Já na terça-feira, a temperatura de 40.2 registrada também em Bangu foi a mais elevada dos últimos cinco anos. No dia seguinte, os termômetros instalados no mesmo bairro marcaram 40.5.

Mourão, disse que ainda é cedo para se cogitar em manifestações do efeito-estufa — uma onda de calor que segundo cientistas norte-americanos, assolará a Terra dentro de meio século. Para o astrônomo, o calor de ontem é "típico do Rio, cantado em marchinhas carnavaiscas, e do verão que é tradicionalmente um dos mais quentes do planeta".

— Lembra-se do "Ala-lá-dá-lá" — perguntou Ronaldo Mourão. — No Rio, o natural é o verão sufocante que já foi até título de filme — comentou, referindo-se a "Rio, 40 graus", de Nelson Pereira dos Santos.

O chefe do Observatório Nacional disse que a teoria do efeito-estufa é discutível e, se acontecer, haverá um aumento lento e gradual da temperatura. Mourão dividiu inclusive de que o fenômeno atinja o Hemisfério Sul, onde os oceanos poderiam armazenar todo o dióxido de carbono.

O geógrafo Elton Amador também acha "alarmismo excessivo em efeito-estufa".



O motorista Aldir toma um sorvete antes de sair para outra viagem

Em Bangu, os jeitinhos para enfrentar o sol

Em Bangu, ontem, ninguém cen- — Até agora — contou — vendi

Na Zona Norte, acabam os estoques de Ventiladores

Com o aumento do calor, crescem as vendas de aparelhos de ar condicionado, circuladores e ventiladores. Os artigos mais baratos ou em promoção são os que mais saem, sobretudo na Zona Norte, onde algumas lojas já esgotaram seus estoques de ventiladores com preços abaixo de Cr\$ 20 mil.

Previendo o aumento da procura neste período, a rede da Tele Rio (21 lojas) renovou seu estoque com muita antecedência e agora está em condições de fornecer para outras firmas. Segundo o Superintendente da empresa, Domingos Siqueira, só nesta semana suas lojas venderam mais do que todo o mês de dezembro. Atualmente, estão sendo vendidos mais de 100 aparelhos por dia, o que normalmente são num mês na época de inverno.

MOVIMENTO

Domingos Siqueira explicou ainda que na Zona Sul se esgotaram os es-

eram as repartições públicas e firmas maiores, mas com o "aperto da situação", segundo ele, até estas passaram a reduzir seus gastos.

— O consumidor doméstico é agora o maior comprador. Com o peso da inflação, quem comprava o aparelho grande, trocou pelo médio; outros passaram a procurar o pequeno. Mas sentimos que a população precisa desses aparelhos para enfrentar o calor, por isso abastecemos nosso estoque para todo o verão.

NA LOJA

Na Avenida Cônego de Vasconcelos, onde fica o centro comercial de Bangu, o vendedor de uma loja de eletrodomésticos, Avelino de Souza, de 37 anos, contou que este mês as vendas de ventiladores, circuladores e condicionadores de ar aumentaram em 85 por cento. Ontem, até

Fonte: Adaptado site <https://acervo.oglobo.globo.com>

Portanto, a partir deste momento, as nações começaram a pensar em políticas voltadas para reformulação da produção industrial para que fossem reduzidos estes gases de efeito estufa. À vista disso, acordos foram fechados e incentivos econômicos foram propostos. Em 1988 surgiu o IPCC. Após isso, diversos encontros e acordos climáticos internacionais, destacando-se: a Conferência de Estocolmo, a ECO-92, o Protocolo de Kyoto, o Rio +10, o Acordo de Paris e a Carta da Terra, todos focados em políticas ambientais (BRITO, 2018).

De todos, o que mais teve medidas foi o acordo de Paris e de acordo com Brigida Brito (2018) sugestões deste encontro foram as seguintes:

“OS SEIS DESAFIOS DA MISSÃO 2030 PARA O CLIMA

1. Setor da Energia tem sido apresentado como um dos que mais contribuem para a emissão de gases com efeito de estufa por recorrer a fontes energéticas convencionais, nomeadamente combustíveis fósseis. A possibilidade de consolidar um sector energético fundamentado em fontes alternativas foi apresentada como viável e vantajosa, ambicionando-se alcançar 30% em 2020.
2. Infra-estruturas, defendendo-se a implementação do conceito de cidades sustentáveis, orientadas pela descarbonização do parque habitacional e patrimonial, quer em residências privadas, quer em edifícios públicos.
3. Transportes, que continuam a ser alvo de incremento em todo o mundo, representando um contributo significativo para a emissão de gases poluentes, fundamentalmente nos veículos particulares, no transporte urbano e pesado, havendo o incentivo à substituição por veículos eléctricos. Por outro lado, a preocupação em reduzir a emissão de gases poluentes na aviação comercial em 20%/km percorrido adquire relevância, tendo em consideração o impacto das emissões produzidas por este tipo de transporte em todo o mundo.
4. Uso da terra, já que se trata de um dos sectores que, em resultado da produção agropecuária intensiva em longas extensões de terra, mais contribuem para a emissão de gases com efeito de estufa, não havendo de forma generalizada uma compensação adequada. Como forma de controlar os índices minimizando os impactes negativos, a proposta centrou-se na promoção de programas alargados de reflorestação e arborização de áreas urbanas.
5. Setor da Indústria é o principal promotor de 70% dos gases com efeito de estufa, estando directa e indirectamente relacionado com o uso de fontes energéticas fósseis, produzindo impactes tanto em meio terrestre como costeiro e marinho, contribuindo para a degradação de ecossistemas e recursos naturais. A proposta para o sector industrial centrou-se na adopção de fontes energéticas renováveis com captura de carbono.
6. Financiamento climático é favorável ao incremento da cooperação internacional com a mobilização de 1 trilhão de dólares por ano em favor da ação climática mundial, incluindo

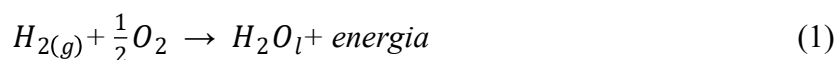
nos países que sofrem de maiores vulnerabilidades socioambientais. Estes seis tópicos orientados para a intervenção continuam a representar desafios que requerem esforços complementares por parte de toda a comunidade internacional, não dependendo apenas da soberania de cada Estado.”

A COP 26, iniciada em 31 de outubro de 2021, em Glasgow-Escócia, discutiu os compromissos já firmados no encontro de Paris e acrescentou alguns, tendo em vista a urgência que o planeta tem, levando em consideração a possibilidade de mais um aumento na temperatura por conta do número elevado de gases estufas que ainda estão sendo emitidos. Infelizmente, a COP 26 não teve uma abrangência esperada. De acordo com a WayCarbon, os países mais ricos não estavam dispostos a aumentar o valor de 100 bilhões de dólares em auxílio financeiro para financiar projetos em projetos de descarbonização de países em desenvolvimento, até porque, eles não cumpriram este acordo, até então.

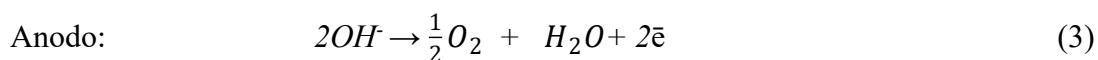
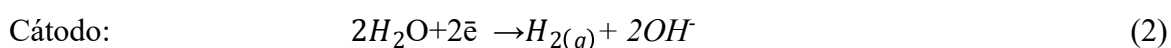
O desfecho deste encontro apontou o comprometimento com redução de combustíveis fósseis, cortar 30% das emissões de metano até 2050, acabar com desmatamento até 2030, este item com uma meta específica para o Brasil, de acabar com o desmatamento ilegal até 2028 e por fim, reduzir a emissão de veículos com meta de venda de veículos neutros até 2040.”

3.2 Hidrogênio

É considerado o elemento mais abundante do universo com fórmula molecular H_2 . Apesar disso, sua obtenção isolada não ocorre naturalmente, sendo necessário gastar energia na dissociação de uma fonte primária através de processos químicos que envolvem outros elementos para separação de moléculas (SANTOS & SANTOS, 2005).



A energia absorvida no processo é convertida em calor nos eletrodos e energia química na forma de hidrogênio gasoso. Essa reação serve então para a separar o hidrogênio do oxigênio. As reações nos eletrodos são descritas como:



Como pode ser observado, as duas moléculas de hidrogênio se encontram com as moléculas de oxigênio, formando duas moléculas de água. Neste processo é liberada uma quantidade energética significativa gerando uma explosão (combustão) e este calor gerado chega a 120.000 joules.

Esta alta conversão energética por unidade de massa é 2,75 mais energética que os hidrocarbonetos, além de ser renovável. Na Tabela 1 pode-se verificar o comparativo energético entre alguns combustíveis.

Combustível	Valor do Poder Calorífico	Valor do Poder Calorífico
-------------	---------------------------	---------------------------

	Superior KJ/g(a 25 °C e 1 atm)	Inferior KJ/g(a 25 °C e 1 atm)
Hidrogênio	141,86	119,93
Metano	55,53	50,02
Propano	50,36	45,6
Gasolina	47,5	44,5
Gasóleo	44,8	42,5
Metanol	19,96	18,05

Tabela 1-Poder calorífico de diferentes combustíveis

Fonte: SANTOS & SANTOS, 2005.

Em geral, na obtenção do hidrogênio são empregados combustíveis fósseis, um número equivalente a 98% da sua produção resultando no chamado hidrogênio cinza, cujo nome é devido as emissões de gases estufa realizadas no processo de obtenção (CHEN et al., 2021). A produção de hidrogênio cinza hoje representa cerca de 830 toneladas de dióxido de carbono emitidos por ano. O que diferencia o hidrogênio cinza e o hidrogênio verde é o processo pelo qual o produto é obtido. Neste caso, os combustíveis fósseis são substituídos pelo uso de fontes renováveis, gerando uma produção energética mais sustentável. As formas de obtenção do hidrogênio são: reforma, eletrólise e produção biológica.

3.2.1 Reforma do gás natural e outros hidrocarbonetos

Esta técnica consiste em expor o gás natural ou outros hidrocarbonetos a vapor d'água a altas temperaturas, na presença de um catalisador, para produzir o hidrogênio, monóxido de carbono e dióxido de carbono (ANDRADE, 2003). Este processo é chamado de reforma de hidrocarbonetos, onde processo químico de ruptura das ligações carbono-hidrogênio com formação de hidrogênio na presença de catalisadores. Os principais tipos de catalisadores empregados são platina, ródio, rutênio, molibdênio, estanho, ferro, cromo, gálio, entre outros. Quase sempre na forma de óxidos e suportados em alumina ou zeólitas (DANTAS, 2011).

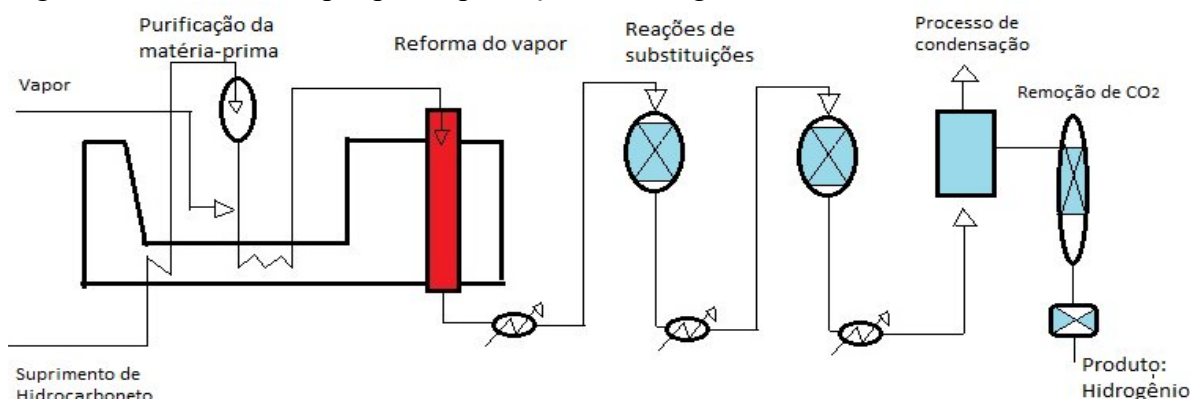
As equações 4 e 5 exemplifica o processo de reforma de vapor utilizando o metano.





Este processo é endotérmico e por isso, sua maior desvantagem é a utilização de alta energia e altas pressões para que a conversão ocorra. Além disso, estas condições acabam levando à desativação do catalisador, seja por sinterização que pode resultar em queda da atividade catalítica devido a perda de área superficial ativa ou pela formação de coque (carbono depositado na superfície do catalisador) (TRIMM, 1999). A Figura 3 apresenta um esquema industrial para a produção de hidrogênio através da reforma de vapor.

Figura 2- Reforma de vapor para a produção de hidrogênio



Fonte: Ribeiro, 2011.

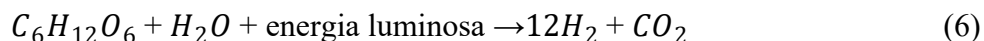
Segundo Marban et al (2007), a reforma a vapor do gás natural pode atingir uma eficiência de conversão de 65-75% para pequenas unidades descentralizadas e sobe para 85% para grandes sistemas centralizados. Os custos atuais para a obtenção de hidrogênio a partir de reforma de gás é de 1,0 - 2,0 USD/kg H₂ (NOGUEIRA *et al.*, 2021).

3.2.2 Produção microbiológica

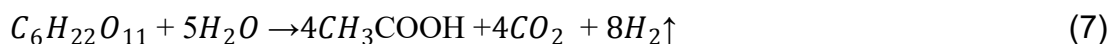
O hidrogênio pode ser produzido por rotas biológicas sendo elas: fotossintético ou processos fermentativos. Pode-se citar alguns processos como: biofotólise direta da água usando algas verdes, biofotólise indireta da água por cianobactérias, fotofermentação de compostos orgânicos por bactérias fotossintéticas e depleção de compostos orgânicos por bactérias fermentadoras. Fermentação com oxigênio e hibridização sistemática uso fotossintético e bactérias fermentativas. A biofotólise direta da água, geralmente realizada por algas verdes em condições anaeróbicas, está relacionada à ação da energia luminosa sobre os sistemas biológicos, resultando na separação da água e na produção de hidrogênio. A biofotólise indireta normalmente envolve cianobactérias, que usam a energia armazenada em carboidratos

na fotossíntese para produzir gás hidrogênio a partir da água e estes procedimentos atingem 24% de rendimento (DE SÁ et al., 2014).

-Fotossintéticos: utilizam microrganismos fotossintéticos e produzem o H_2 em suas atividades metabólicas empregando a energia luminosa, conforme descrito na equação abaixo (ALMEIDA et al., 2019).



-Métodos Fermentativos: A biodigestão anaeróbia ocorre com a atuação de microrganismos que convertem compostos orgânicos complexos em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia. As principais reações bioquímicas que ocorrem são divididas em: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (LETTINGA, 1996).

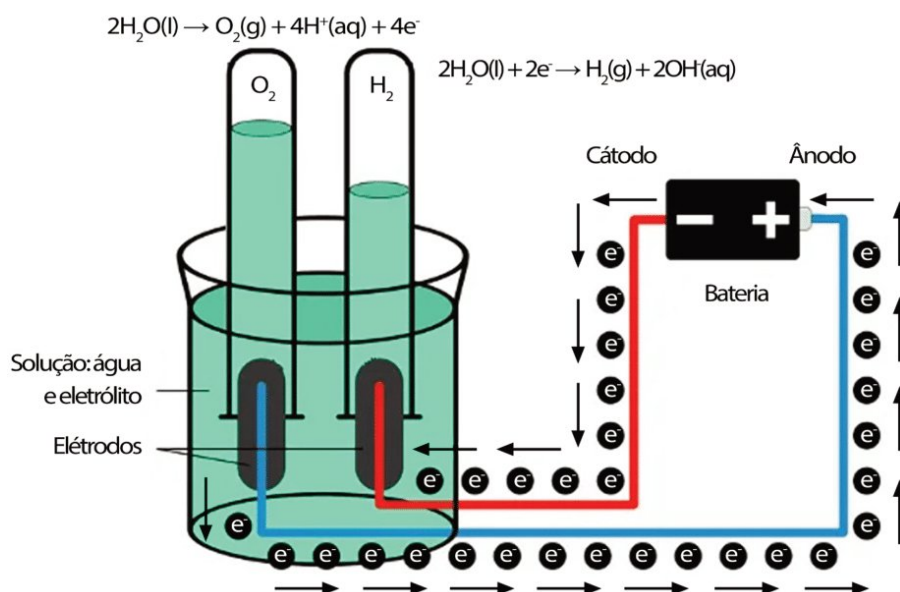


Todos os processos mencionados podem ser combinados de forma a expandir as possibilidades tecnológicas de produção do hidrogênio biológico (DE SÁ *et al.*, 2014). O processo de obtenção de hidrogênio a partir de biomassa vem se mostrando bastante competitivo, uma vez que o custo para a produção está entre 2,0 a 4,0 USD/kgH₂ (NOGUEIRA *et al.*, 2021).

3.2.3 Eletrólise da água

Este método se baseia na utilização da energia elétrica, para separar os componentes da água (hidrogênio e oxigênio), sendo o rendimento global do processo da ordem dos 95%. Por definição, a eletrólise da água é a reação química de oxirredução ocasionada pela passagem de corrente elétrica contínua, equivalente à dissociação da molécula de água nos seus constituintes, a saber, o hidrogênio e o oxigênio, na presença de um eletrólito (GOMES, 2022). A Figura 4 representa como ocorre o processo de eletrólise.

Figura 4- Eletrólise da água.

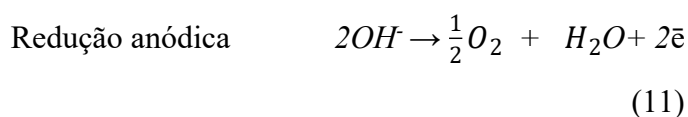
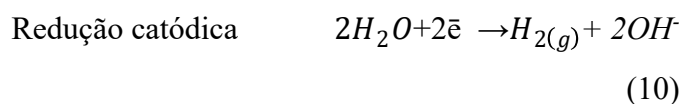


Fonte: Gomes, 2022.

A reação global que representa a eletrólise é:



Sendo as etapas da seguinte forma:



Termodinamicamente explicitando, a eletrólise possui as seguintes etapas:

✓ De acordo com a primeira Lei da termodinâmica e considerando o sistema aberto:

$$Q - W = \Delta H \quad (12)$$

Onde:

Q = Calor fornecido ao sistema;

W = Trabalho realizado;

ΔH = Diferença de entalpia no sistema.

Considerando que o único trabalho realizado é o da energia elétrica aplicada ao eletrolisador, W pode ser definido como:

$$W = -n.F.E \quad (13)$$

Sendo:

n = número de elétrons transferidos;

F = constante de Faraday (=23074 cal/volt);

E = potencial elétrico(V).

Substituindo a equação 12 na equação 13 obtém-se:

$$W = \frac{\Delta H - Q}{n.F} \quad (14)$$

Tomando um processo isotérmico irreversível, o calor Q é:

$$Q = T. \Delta S \quad (15)$$

Em que:

T = temperatura;

ΔS = variação de entropia.

Substituindo a equação 15 na equação 14, obtém-se:

$$E_{rev} = \frac{\Delta H - T\Delta S}{n.F} \quad (16)$$

Em que:

$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ (variação da energia livre de Gibbs);

* Considerando as condições normais de temperatura e pressão (25 °C e 1atm), ΔH =56690 cal/mol.

Desta maneira, o potencial reversível entre os eletrodos é equivalente à:

$$E_{rev} = \frac{\Delta G}{n.F} = \frac{56690 \text{ cal/mol}}{2.23074 \text{ cal/volt}} = 1,23 \text{ volts} \quad (17)$$

Porém, quando as perdas dos processos são levadas em consideração, o potencial entre os eletrodos é maior do que o reversível. Portanto, na equação (14), n e F são constantes e consideram a mesma pressão, temperatura e a concentração do eletrólito. Neste caso, ΔH será constante e Q vai variar com E . À medida que o processo se torna irreversível, Q pode tornar-se negativo e vai diminuir quando a energia for perdida em forma de calor. Com isso, $Q = 0$, então, toda a energia necessária para o processo de eletrólise é fornecida pela energia elétrica e o potencial, neste momento, é chamada de voltagem termoneutra e fica sob a forma da equação 18:

$$E_{rev} = \frac{\Delta H}{n.F} = 1,48 \text{ volts} \quad (18)$$

No entanto, o potencial a ser aplicado nos eletrodos deve ser maior do que o calculado pela Eq. (18), uma vez que as resistências da reação são provenientes dos sobrepotenciais requeridos para ultrapassar a energia de ativação da superfície do eletrodo (ZENG; ZHANG, 2010). Sendo assim, parte da energia elétrica é perdida na forma de calor que aumentará a temperatura dos eletrodos no eletrolisador. A voltagem de operação do eletrolisador pode ser dada pela equação 19:

$$E = E_{rev} + Perdas \quad (19)$$

Onde as perdas são:

$$Perdas = E_{anodo} + E_{catodo} + E_{tm} + IR \quad (20)$$

Em que:

E_{anodo} = sobre-tensão de ativação do anodo

E_{catodo} = sobre-tensão de ativação do catodo

E_{tm} = sobre-tensão de ativação da transferência de massa

IR = sobre-tensão de ativação ôhmica (I é corrente e R é a resistência da célula)

*A resistência da célula inclui: o eletrólito, eletrodo e os terminais.

*A sobre-tensão ou overpotencial é a diferença entre o potencial elétrico do eletrodo com corrente fluindo e sem corrente no estado de equilíbrio.

As resistências de transporte de massa podem ocorrer por meio de três maneiras: migração, que é o movimento dos íons no campo elétrico; difusão, devido a um gradiente de concentração; e convecção, que é o movimento das espécies induzido por agitação ou gradientes de densidade (ZOSKI, 2007).

Calculando, então, a eficiência da eletrólise convencional na célula, tem-se:

$$\eta = \frac{\Delta H}{\Delta G + Perdas} = \frac{E_{termo}}{E} \quad (21)$$

Maneiras para melhorar a eficiência do sistema eletrolítico:

-Reduzir termodinamicamente a energia necessária para a reação com o aumento da temperatura e pressão (PALHARES, 2016);

-Minimizar as perdas de energia na célula eletrolítica, reduzindo as resistências dominantes (ZENG; ZHANG, 2010);

Atualmente, a obtenção do hidrogênio via rota eletrolítica vem sendo mais cogitada por conta das fontes renováveis de energias associadas ao processo. Em geral, principalmente no Brasil, o emprego de energia fotovoltaica e eólica vem se mostrando promissores a este tipo de processo e a água utilizada no processo é a água salina, que passa por um processo de dessalinização, tornando o processo mais viável, já que a água do mar é abundante e os processos de dessalinização já são amplamente utilizados.

O custo atual para a produção de H_2 a partir de eletrólise é de 3,5 a 6,5 USD/kg H_2 (NOGUEIRA *et al.*, 2021). Este valor é considerado alto em comparação aos outros meios, conforme apresentados anteriormente, no entanto, a Agência Internacional de Energia (IEA, em inglês) (2021) mostrou em seu relatório que a aposta mundial para a produção de H_2 via eletrólise está no Brasil, por conta das inúmeras fontes renováveis e em especial, as energias eólicas e solares, já que estas prometem reduzir o custo desta produção. Sendo assim, o Conselho Global de Energia Eólica vem considerando estas fontes energéticas como estratégia para o barateamento do custo de produção do hidrogênio verde e, com isso, empresas de diversos países estão investindo em solos brasileiros (WALTER. 2021).

4 METODOLOGIA

A revisão bibliográfica consiste em estudos observacionais, estudos experimentais e análise crítica da literatura, que sintetiza os estudos considerados primários (GALVÃO & PEREIRA, 2014), que são relevantes para um período limitado de tempo. Como resultado, a evidência científica em questão poderá ser utilizada como base para pesquisas futuras (MATTOS, 2015).

O presente trabalho foi executado na forma de revisão bibliográfica abordando variadas matrizes literárias, utilizando buscas sistêmicas na base de dados disponibilizada no portal: Periódicos Capes, com o auxílio do operador booleano AND, que agiu na correlação simultânea dos termos escolhido como descritores.

Estes descritores escolhidos para a busca são: Hidrogênio verde, hidrogênio, combustível, energia, eletrólise e Brasil. Aplicando de maneira síncrona os descritores com os operadores booleanos, tem-se as formações, hidrogênio verde AND combustível, Hidrogênio verde AND Brasil, hidrogênio AND combustível, hidrogênio AND energia, hidrogênio AND Brasil, hidrogênio AND eletrólise.

Foram encontrados 29 trabalhos nesta pesquisa, com publicações de 2020 a 2022. Os recursos utilizados foram virtuais, ou seja, a busca realizada nos sites das bases de dados, onde na barra de pesquisa foram inseridos o operador booleano com seus respectivos descritores e assim, foram obtidas as quantidades de artigos com os tópicos e selecionados de acordo com os critérios de inclusão e exclusão. O período de busca foi: Janeiro de 2022 até Maio de 2022.

Como critérios de exclusão adotados: artigos anteriores a 2020, trabalho que não continham fontes renováveis para a produção de energia, hidrogênio como fonte energética ou que não fosse produto final, artigos que não apresentassem processos de produção de hidrogênio e artigos que não utilizassem o hidrogênio como combustível. Também foram analisados os títulos das obras, para que fosse verificado a semelhança ou importância para o trabalho.

Esta revisão foi organizada na seguinte ordem cronológica:

1. Busca realizada nas bases de dados;
2. Separação dos trabalhos por data de publicação;
3. Exclusão de artigos duplicados e/ou muito antigos;
4. Priorização para artigos com títulos mais atrativos ao projeto e que viessem a contribuir de maneira positiva para a pesquisa;
5. Confronto dos resultados mais relevantes para esta investigação;
6. Organização dos dados obtidos.

Sendo assim, os trabalhos mais relevantes foram selecionados pelos critérios de inclusão e exclusão, na ordem cronológica descrita acima. Por fim, os resultados serão comparados a fim de fornecer uma base para a interpretação dos resultados obtidos.

Operadores Booleanos

A Lógica Booleana foi denominada por George Boole (1815- 1864), matemático e lógico britânico que desenvolveu a teoria da lógica binária, na qual existem somente dois valores possíveis 0 ou 1/ verdadeiro ou falso (PICALHO et al., 2021). A busca booleana então, consiste em uma aplicação da Lógica de Boole a um tipo de sistema de recuperação da informação, no qual se combinam dois ou mais termos, relacionandoos por operadores lógicos, que tornam a busca mais restrita ou detalhada.

Os Operadores Booleanos atuam como palavras que informam ao sistema de busca como combinar os termos de sua pesquisa (SAKS, 2005). São eles: AND, OR e NOT e significam, respectivamente, E, OU e NÃO e, a fim de facilitar a visualização da busca, é importante que estes sejam escritos em letras maiúsculas. O operador booleano AND funciona como a palavra “E”, fornecendo a intercessão, ou seja, mostra apenas artigos que contenham todas as palavras-chave digitadas, restringindo a amplitude da pesquisa.

Entre os sinônimos de um componente da busca, utiliza-se o “OR”, recuperando-se artigos que abordem um ou outro tema (soma). O operador “NOT” é utilizado para excluir um assunto da busca(PEREIRA & FREIRE, 2014).

Periódico Capes

O Portal de Periódicos, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), é uma biblioteca virtual que reúne e disponibiliza a instituições de ensino e pesquisa no Brasil o melhor da produção científica internacional. Ele conta com um acervo de mais de 45 mil títulos com texto completo, bases referenciais, bases dedicadas exclusivamente a patentes, além de livros, enciclopédias e obras de referência, normas técnicas, estatísticas e conteúdo audiovisual, segundo o portal da CAPES (2020) .

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a pesquisa nas bases de dados, foi possível identificar a seguinte quantidade de trabalhos conforme mostrado na Tabela 2:

Tabela 2-Trabalhos encontrados nas bases de dados utilizando os descritores e os operadores booleanos

BASE DE DADOS	DESCRIPTORES	ANO	QUANTIDADE DE TRABALHOS
Web of Science	hidrogênio verde AND combustível	2020	00
	hidrogênio verde AND Brasil	2020	00
	hidrogênio AND combustível	2020	03
		2021	02
	hidrogênio AND energia	2020	05
		2021	06
		2022	01
		2020	04
	hidrogênio AND Brasil	2021	05
		2022	02
	hidrogênio AND eletrólise	2020	01
	TOTAL		29

Fonte: Autor, 2022

Foram obtidos 29 artigos científicos. Deste total, 8 artigos eram repetidos, então o total ficou em 21. Dos 21 artigos que permaneceram, 3 trabalhos não tinham relação com o tema proposto. Dos 18 restantes, 3 explicitam produções de H₂ através de processos microbiológicos, 4 apresentaram biomassa como fonte energética direta e não como propulsor da produção de hidrogênio e destes 4 trabalhos, 1 utiliza eletrólise como meio de produção (LAMAS-

SAMANAMUD *et al.*, 2020). Foram encontrados 10 trabalhos citaram a produção de hidrogênio e destes, 8 trabalhos utilizavam fontes variadas de energia como termoeletricas, etanol, latas de alumínio, resíduos industriais como glicerol e reforma de vapor. Por fim, 2 trabalhos eram sobre a produção energética oriunda de carvão vegetal. A Tabela 3 apresenta as produções científicas separadas neste trabalho após o critério de exclusão.

Tabela 3- Trabalhos separados após os critérios de exclusão

TEMA	ANO	AUTOR
Produção de hidrogênio através de bioprocessos	2020	LOPES,et al., 2020
	2021	ANDAMES, et al, 2021
		SILVA et al., 2021
Produção Energética através de bioprocessos		CORREIA ET AL, 2020
	2020	LEITÃO et al, 2020
		LAMAS-SAMANAMUD et al.,2020
	2021	SYLVIO et al.,2021
		COSTA & VILLALVA,2020
Produção de H ₂ através de eletrólise	2020	BIZAWU et al., 2020
		MELO et al 2020
		GANNOUN, 2021
	2021	MIRANDA, 2021
		BENEDET et al., 2021
		NOGUEIRA, et al, 2021
Produção energética através de carvão ou madeira	2022	SILVA ET AL., 2022
		FARIAS et al.,2022
	2020	SOUZA et al., 2020
	2021	SILVA et al.,2021
TOTAL		19

Fonte: Autor, 2022

Deste modo, das 3 matrizes energéticas renováveis, a que se mostrou mais viável foi com a matriz de produção microbiológica, pois mostrou maiores resultados de produção de H_2 e menores custos de produção. Em contrapartida, é possível verificar que os processos para a obtenção de H_2 via eletrólise vem ganhando cada vez mais espaço por possuir uma fonte totalmente limpa e sem a emissão de GEEs.

COSTA & VILLALVA, 2020 apresentaram um estudo econômico para projetos de combustíveis renováveis que possam ser híbridos e mostram modelagens de células fotovoltaicas e biodiesel com produção anual de 2973 kWh/ano. BIZAWU *et al.*, 2020 recita sobre diversas fontes energéticas e trata que em solos brasileiros, há uma gama de opções a se escolher. Também cita a produção de hidrogênio a partir de energia solar e eólica como promissoras e mostrou que estudos vem sendo realizado para a redução dos custos desta e energia. Citou que em uma década a tecnologia solares e pequenos aerogeradores serão tão baratos quanto telefones celulares e laptops.

MELO *et al.*, 2020 avaliaram a produção de hidrogênio em meio básico e observou que um meio contendo 2 mol/L de NaOH à 25 °C obteve uma maior produção de H_2 atingindo uma taxa conversão de 0,20 mL H_2 /min. Este estudo utilizou latas metálicas, o que também auxilia o meio ambiente. GANNOUM, 2021, apresentou que o Brasil vem aumentando o número de campo de energia eólica e recebeu um investimento do BNDES em 2020 no valor de 72,9 bilhões de reais para projetos em todo o território nacional. No que tange parques eólicos *offshore*, o Brasil tem capacidade para 1200GW só no nordeste e isso aliado a produção de hidrogênio vai contribuir não só para a produção energética, mas para os setores industriais. Devido a alta quantidade de fontes renováveis, o Brasil vai reduzir o custo da produção de hidrogênio em 60% até 2030. Ainda apresentou como se dá atualmente a distribuição energética brasileira: 58,7% com hidrelétricas, 10,3% com energia eólica, 8,7% com biomassa, 1,9% com energia fotovoltaica, 8,5% Gás natural, 5,1% petróleo, 2,0% por carvão mineral e 2,0% nuclear e 8,7% oriundos de PHC e GCH.

MIRANDA, 2021 apresentou a importância de estudos na área de materiais, principalmente o que tange eletrodos para maior eficiência na produção de hidrogênio. BENEDET *et al.*, 2021 mostraram a oportunidade da utilização da energia termoeletrica para a obtenção de hidrogênio e que embora não seja uma fonte renovável, vai auxiliar o processo de produção, já que os GEEs serão remanejados para a produção de hidrogênio e não mais emitidos ao ambiente. NOGUEIRA, *et al*, 2021 exemplificaram os resíduos agroflorestais já existentes serão importantes para a produção de hidrogênio no Brasil, uma vez que o país é

predominantemente agroindustrial e o potencial de produção é de 45,7 bilhões de m³ de hidrogênio. Também estima-se que o Ceará (estado do nordeste brasileiro) será o *hub* da produção de hidrogênio através de energia eólica e solar no porto de Pecem. O investimento no setor chega a 5 bilhões de dólares, o que permite uma produção de 10 milhões de m³ de hidrogênio verde através de eletrólise da água.

SILVA ET AL., 2022 relata sobre a produção de hidrogênio utilizando energia eólica através de eletrólise e sua modelagem apresentou 13621 *MW* de energia e este resultado é 3 vezes maior que o necessário. No entanto, mostrou que a eficiência energética vai depender da força do vento, o que representa então um valor de 50%, já que pode não gerar energia suficiente para a produção de hidrogênio, pois os ventos são variáveis.

FARIAS et al., 2022 apresenta uma série de dados interessantes sobre as leis nacionais que estão de acordo com as leis internacionais que garantem a qualidade do hidrogênio. Também apresentou dados importantes sobre o hidrogênio em forma energética que em 2020 foi capaz de atender a 8% da demanda de energia global com um custo de produção de 2,50 USD \$/kg de H₂. Com isso, a previsão de redução desse custo para 2030 fica em torno de 1,80 USD \$/kg de H₂.

6 CONCLUSÃO

O Brasil se mostra um promissor produtor de hidrogênio verde, por conta do número de fontes renováveis e espaço geográfico, além de ser banhado pelo mar, o que facilita o processo de eletrólise e não precisa utilizar água potável, mas sim, dessalinizada. Além disso, o país vem recebendo bastante investimento externo, o que contribui para a expansão dos processos tornando o Brasil o possível maior produtor de hidrogênio verde do mundo. Foi identificado também que o porto do Pecem (Ceará) está cotado para ser o *hub* da produção de energia eólica brasileiro, então, este provavelmente também será um dos lugares com maior produção de hidrogênio verde a partir de energia eólica. Os custos de produção de H₂ verde tem previsibilidade de serem reduzidos até 2030, graças ao grande aporte internacional que vem sendo investido no país.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. S. *et al.* **Hidrogênio, o combustível do futuro.** Diversitas Journal, [S.L.], v. 4, n. 2, p. 356-366, 2 jun. 2019. Universidade Estadual de Alagoas. <http://dx.doi.org/10.17648/diversitas-journal-v4i2.593>.
- ALMEIDA, R. I. J. *et al.* **Investimento em crédito de descarbonização - cbio.** Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação- Rease. São Paulo, p. 1-2. 1 abr. 2021.
- ALMEIDA, T. H. *et al.* **Comparative Study Between Theoretical and Experimental Values of Dimensional Quantities for Tropical Brazilian Wood.** Matéria (Rio de Janeiro), Rio de Janeiro, v. 25, n. 3, p. 1-6, 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620200003.1098>.
- ARAÚJO, E. *et al.* **Sustentabilidade e descarbonização: desafios práticos: Territórios e comunidades.** Braga: Cecs – Centro de Estudos de Comunicação e Sociedade Universidade do Minho Braga . Portugal, 2020. 148 p. Disponível em: www.cecs.uminho.pt. Acesso em: 10 mar. 2022.
- BENEDET, G. W. *et al.* **GHG emissions offset of a combined-cycle natural gas-fired thermopower plant in Northeastern Brazil.** Dyna, Colombia, v. 88, n. 217, p. 200-210, 22 maio 2021. Universidad Nacional de Colombia. <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v88n217.93050>.
- BESSAT, F. **A Mudança Climática entre Ciência,Desafios e Decisões: olhar geográfico.** In: Terra Livre, v. 1, n. 20. pp 11-26. 2003.
- BEZERRA, F. D. **Hidrogênio verde: nasce um gigante no setor de energia:** caderno setorial etene. 6. ed. Fortaleza: Bnb, 2021. 13 p. (212). Disponível em: <https://cultura.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/1109>. Acesso em: 25 mar. 2022.
- BIZAWU, K. *et al.* **O futuro do setor de energia no brasil sob a perspectiva de uma sociedade do custo marginal zero.** Relações Internacionais no Mundo Atual, [S.L.], v. 1, n. 22, p. 196-220, 24 abr. 2020. Conselho Nacional de Pesquisa e Pos-Graduacao em Direito - CONPEDI. <http://dx.doi.org/10.21902/revrima.v1i22.4005>.
- BRITO, B.E **depois do acordo de paris sobre alterações climáticas...?**Lisboa, 01 fev. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ual.pt/handle/11144/4840>. Acesso em: 07 maio 2022.
- CAPES-Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (org.). **Quem somos.** 2020. Disponível em: <https://www.periodicos-capes.gov.br.ezl.periodicos.capes.gov.br/index.php/sobre/quem-somos.html>. Acesso em: 1 abr. 2022
- CORREIA, Mateus Azevedo Chaves *et al.* **Características e potencial energético do bagaço da cana-de-açúcar armazenado sem cobertura por um período prolongado.** Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, Maringá-Pr, v. 13, n. 1, p. 173-187, 20 fev. 2020. Centro Universitario de Maringa. <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n1p173-187>.
- COSTA, T.S.; VILLALVA, M.G.. **Technical Evaluation of a PV-Diesel Hybrid System with Energy Storage: case study in the tapajós-arapiuns extractive reserve, amazon, brazil.** Energies, Switzerland, v. 13, n. 11, p. 2969, 9 jun. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/en13112969>.

DANTAS, S. C. **Produção de hidrogênio a partir da reforma de metano e etanol em catalisadores de níquel com suportes à base de CeO₂ e CeZrO₂**. 2011. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-Mg, 2011.

DE SÁ, V. et al.. **Produção de hidrogênio via fermentação anaeróbia—aspectos gerais e possibilidade de utilização de resíduos agroindustriais brasileiros**. Química Nova, v. 37, n. 5, p. 857-867, 2014.

FARIAS, C. B. B. et al. **Use of Hydrogen as Fuel: A Trend of the 21st Century**. Energies: MPDI. Switzerland, p. 1-20. 3 jan. 2022.

FELSENTHAL, M. et al. **O COVID-19 lança a economia mundial na pior recessão desde a Segunda Guerra Mundial**: comunicado à imprensa. COMUNICADO À IMPRENSA. The World Bank, 2020. Disponível em: <https://www.worldbank.org/pt/news/press-release/2020/06/08/covid-19-to-plunge-global-economy-into-worst-recession-since-world-war-ii>. Acesso em: 27 maio 2022.

GANNOUM, E. **Energia eólica no Brasil: os motivos do sucesso e o futuro dos nossos bons ventos**. Revista Brasileira de Energia, Itajubá-Mg, v. 27, n. 3, p. 44-60, 17 ago. 2021. Trimestral. Revista Brasileira de Energia. <http://dx.doi.org/10.47168/rbe.v27i3.641>.

GOMES, J. **Eletrolise da água na obtenção de hidrogênio: o ressurgimento de uma tecnologia**. Revista de Ciência Elementar, Porto, v. 10, n. 2, p. 1-3, 15 jun. 2022.

GURLIT, W. et al. **Hidrogênio verde: uma oportunidade de geração de riqueza com sustentabilidade, para o Brasil e o mundo**. 2021. Disponível em: <https://www.mckinsey.com.br/our-insights/hidrogenio-verde-uma-oportunidade-de-geracao-de-riqueza-com-sustentabilidade-para-o-brasil-e-o-mundo>. Acesso em: 13 maio 2022.

IBP-INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E GÁS. **Maiores produtores mundiais de petróleo em 2020**: observatório do setor. Observatório do Setor. 2020. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/snapshots/maiores-produtores-mundiais-de-petroleo-em-2020/>. Acesso em: 04 fev. 2022.

IEA - International Energy Agency. **Global Energy Review: CO₂ Emissions in 2020**. Disponível em: <https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020>. Acesso em: 23 abr. 2021

JORNAL O GLOBO (Rio de Janeiro) (ed.). **Cientistas alertam para efeito estufa nos anos 80 e fazem conferência mundial**. Leia mais: <https://acervo.oglobo.globo.com/fatos-historicos/cientistas-alertam-para-efeito-estufa-nos-anos-80-fazem-conferencia-mundial-9904580#ixzz7Uo3NoeMK> stest. 2013. Disponível em: Cientistas alertam para efeito estufa nos anos 80 e fazem conferência mundial Leia mais: <https://acervo.oglobo.globo.com/fatos-historicos/cientistas-alertam-para-efeito-estufa-nos-anos-80-fazem-conferencia-mundial-9904580#ixzz7Uo3NoeMK> stest. Acesso em: 30 maio 2022.

LAHSEN, M. H. **Climatic Rhetoric: constructions of climate science in the age of environmentalism**. 1998. 433 p. Tese (Doutorado em Antropologia). Rice University, Rice, Estados Unidos da América. 1998.

LAMAS-SAMANAMUD, G. R. et al. Análise da comunidade microbiológica e a geração de energia por células de energia microbiológicas com diferentes tipos de ânodos. *Holos*, Natal, v. 2, n. 36, p. 1-16, 28 mar. 2020.

LE TREUT, H.; SOMERVILLE, R.; CUBASCH, U.; DING, Y.; MAURITZEN, C.; MOKSSIT, A.; Peterson, T.; PRATHER, M. **Historical Overview of Climate Change**. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: University Press, 2007. p. 93-128.

LEITÃO, F. O. et al. Mensuração da capacidade de geração de energia elétrica a partir do tratamento dos dejetos suínos. *Igepeq*, Toledo-Pr, v. 2, n. 24, p. 91-215, 1 jan. 2020. Semestral.

LETTINGA, G. **Sustainable integrated biological wastewater treatment**. *Water Science and Technology*, v. 33, p. 85-98, 1996.

LOPES, A. C. de O. et al. Utilization of carbon nanotubes in hydrogen electrosynthesis from tropical fruit fermentation. *Matéria* (Rio de Janeiro), Rio de Janeiro, v. 25, n. 3, p. 11-12, 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620200003.1121>.

MELO, M. C. et al. **Produção de H₂ para células de combustível do tipo PEM via corrosão alcalina**. *Revista Tecnologia e Sociedade*, Santo André-Sp, v. 1, n. 4, p. 1-12, 1 fev. 2020.

MIRANDA, P. E. V. de. **Energia do Hidrogênio e a Área de Materiais no Brasil**. *Matéria* (Rio de Janeiro), Rio de Janeiro, v. 26, n. 1, p. 1-2, 1 jan. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620210001.1253>.

NEGRO, M. L. M. et al. **A descarbonização pela eletroquímica e seu impacto para uma sociedade sustentável**: revista eletrônica de jornalismo científico. *Revista eletrônica de jornalismo científico*. 2021. Comciencia. Disponível em: <https://www.comciencia.br/a-descarbonizacao-pela-eletoquimica-e-seu-impacto-para-uma-sociedade-sustentavel/>. Acesso em: 15 fev. 2022.

NOGUEIRA, L. A. H. *et al.* **Bioenergia no Brasil: onde estamos e quais nossos horizontes**. *Revista Brasileira de Energia*, Campinas, v. 27, n. 3, p. 1-10, 1 jan. 2021. Trimestral.

OUR WORLD IN DATA (Oxford). Oxford Martin School. **Daily new confirmed COVID-19 deaths per million people**: daily new confirmed covid-19 deaths per million people. Daily new confirmed COVID-19 deaths per million people. 2022. Disponível em: <https://ourworldindata.org/explorers/coronavirus-data-explorer?facet=none&Interval=7-day+rolling+average&Relative+to+Population=true&Color+by+test+positivity=false&country=USA~ITA~CAN~DEU~GBR~FRA~JPN&Metric=Confirmed+deaths>. Acesso em: 28 maio 2022.

PALHARES, D. D. F. **Produção de hidrogênio por eletrólise alcalina da água e energia solar**. 2016. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-Mg, 2016.

PEREIRA, M. G.; GALVÃO, T. F. Etapas de busca e seleção de artigos em revisões sistemáticas da literatura. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Manaus- Am, v. 23, n. 2, p.

369-371, jun. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.5123/s1679-49742014000200019>.

PICALHO, A. C. *et al.* **Lógica booleana aplicada na construção de expressões de busca.** Atoz: novas práticas em informação e conhecimento, Florianópolis- Sc, v. 1, n. 1, p. 1-12, 12 out. 2021.

RITCHIE, H. *et al.* **Coronavirus Pandemic (COVID-19).** 2020. Our World in Data. Disponível em: <https://ourworldindata.org/coronavirus>. Acesso em: 05 fev. 2022.

SAKS, F. C. **Busca booleana: teoria e prática.** 2005. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Gestão da Informação, Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-Pr, 2005.

SERRA, M. **Aquecimento Global: evidências e preocupações.** Revista Economia e Tecnologia. Curitiba-PR. Editora da Universidade Federal do Paraná, v.9, n.3, 1 abr 2007. Trimestral

SILVA, A. J. B. *et al.* **Potencial das palmeiras nativas da Amazônia Brasileira para a bioeconomia: análise em rede da produção científica e tecnológica.** Ciência Florestal, Manaus- Am, v. 31, n. 2, p. 1020-1046, 1 jun. 2021. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509843595>.

SILVA, D. C. **Aplicação de resíduo da agroindústria citrícola para a produção de hidrogênio utilizando culturas puras e mistas.** Matéria (Rio de Janeiro), Rio de Janeiro, v. 26, n. 2, p. 1-11, 12 jan. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620210002.1269>.

SILVA, G. N. da *et al.* **Renewable hydrogen production to deal with wind power surpluses and mitigate carbon dioxide emissions from oil refineries.** Applied Energy, Rio de Janeiro, v. 311, p. 1-17, 1 abr. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118631>.

SILVA, R. L. **Carvão vegetal de madeiras nativas do Cerrado em aplicações siderúrgicas e energéticas.** Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, Maringá-Pr, v. 14, n. 4, p. 1-17, 31 jul. 2021. Centro Universitario de Maringa. <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14n4e8364>.

SOUZA, L. M. *et al.* **Comparação da qualidade dos tecidos do pecíolo de buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) para combustão e carbonização.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 516, 4 jun. 2020. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509839653>.

SYLVIO, A. V. *et al.* **Avaliação da Produção de Biogás a Partir de Resíduos de uma Indústria de Celulose.** Revista de Gestão Social e Ambiental, Vales do Jequitinhonha e Mucuri-Mg, v. 15, n. 1, p. 1-15, 28 set. 2021. RGSA- Revista de Gestao Social e Ambiental. <http://dx.doi.org/10.24857/rgsa.v15i1.2720>.

TRIMM, D.L. **Catalysts for the control of coking during steam reforming.** Catalysis Today, 1999, v.49, p.3-10

VELTRONE, A. R. **A Formação do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) enquanto Comunidade Epistêmica.** Ágora, [S.L.], v. 19, n. 1, p. 133, 5 jan. 2017. APESC - Associação Pro-Ensino em Santa Cruz do Sul.

WALTER, A. **Emissões de gases de efeito estufa no setor de energia, no brasil.** Revista Brasileira de Energia, Campinas, v. 27, n. 3, p. 1-9, 1 jan. 2021. Trimestral.

WAY CARBON. **COP26: um breve resumo sobre os principais acordos.** 2021. Disponível em: <https://blog.waycarbon.com/2021/11/cop26-um-breve-resumo-sobre-os-principais-acordos/#:~:text=O%20documento%20assinado%20ao%20final,vaga%20em%20detalhes%20e%20prazos..> Acesso em: 17 jan. 2022.

WORLD BANK GROUP (United States Of America). International Bank For Reconstruction And Development (comp.). **Global Economic Prospects: a world bank report group flagship report.** Washington Dc: World Bank Group, 2020. 238 p. Disponível em: <https://www.worldbank.org/pt/news/press-release/2020/06/08/covid-19-to-plunge-global-economy-into-worst-recession-since-world-war-ii#:~:text=WASHINGTON%2C%208%20de%20junho%20de,5%2C2%25%20neste%20ano.> Acesso em: 08 jan. 2022

ZENG, K.; ZHANG, D. **Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications.** Progress in Energy and Combustion Science, v. 36, n. 3, p. 307-326, 2010.