



**INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - IEDS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIAS**

CONSTANTINO BIAGUÊ

**INTEGRAÇÃO SUSTENTÁVEL DE SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID E
PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE**

REDENÇÃO – CE

2024

CONSTANTINO BIAGUÊ

INTEGRAÇÃO SUSTENTÁVEL DE SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID E
PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito necessário para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Orientador. Prof. Me. Jairo Lima Do Nascimento.

REDENÇÃO – CE

2024

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Biaguê, Constantino.

B471i

Integração sustentável de sistema fotovoltaico off-grid e produção de hidrogênio verde / Constantino Biaguê. - Redenção, 2024.

42f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2024.

Orientador: Prof. Jairo Lima do Nascimento.

1. Energia solar. 2. Geração de energia fotovoltaica. 3. Sustentabilidade. I. Título

CE/UF/BSP

CDD 621.47

REDEÇÃO – CE
2024

CONSTANTINO BIAGUÊ

INTEGRAÇÃO SUSTENTÁVEL DE SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID E
PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito necessário para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Aprovado em 17 / 07 / 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Jairo Lima do Nascimento (Orientador)
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

Prof. Me. Francisco Simão Neto (Examinador)
Universidade Federal de Ceará

Prof. Dr. Sabi Yari Moïse BANDIRI (Examinador)
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

Dedico este trabalho aos meus pais que já não se encontram entre nós, e a todos que de uma forma direta ou indiretamente contribuíram para realização deste projeto.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar a minha eterna gratidão aos meus pais, cujas almas estiveram sempre comigo em todo os momentos desta jornada.

À UNILAB (Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira) por proporcionar as condições acadêmicas necessárias e garantir a minha permanência estudantil, expresso a minha profunda gratidão.

Ao meu orientador, professor Jairo Lima do Nascimento, que aceitou o desafio me orientar neste trabalho e esteve sempre disponível para me apoiar e auxiliar, o meu mais sincero agradecimento.

À minha madrinha Justina Lambal por servir de conselheira e inspiração e aos meus irmãos, especialmente ao mais novo, Nuno Biaguê por todo apoio e incentivo ao longo desta jornada.

Aos professores de IEDS, pelo conhecimento transmitido e pelos ensinamentos que contribuíram para o meu desenvolvimento acadêmico e pessoal expresso a minha gratidão

A Gerson Siqueira, pelo ensinamento e experiência adquirida durante o período de estágio e pós-estágio, meu sincero agradecimento

Aos técnicos de laboratórios de IEDS - UNILAB, pela paciência e suporte durante todo o processo, expresso minha gratidão.

Aos colegas estudantes da universidade, em especial aos de IEDS, e meu amigo irmão Romeu Papa Vieira CÓ, pelo companheirismo e apoio ao longo dessa jornada acadêmica, meu profundo agradecimento.

Ao Tivaldo João Manuel Banca, com quem compartilhei a maior parte deste percurso, pelo apoio e incentivo, meu sincero agradecimento.

Aos meus garotos da turma e à dedicada família da Casa di Marka, assim como aos demais colegas, amigos, irmãos e vizinhos que não pude mencionar individualmente, meu sincero agradecimento. Sem vocês, este percurso não teria sentido.

Agradeço do fundo do coração a todos que contribuíram de alguma forma para realização deste trabalho de conclusão de curso.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

A necessidade de reduzir as emissões de CO₂ e conseqüentemente o aquecimento global constitui preocupação para um futuro mais sustentável. Por esse motivo que a integração de sistemas fotovoltaicos off-grid para produção de hidrogênio visa aproveitar a luz de fontes sustentáveis e abundantemente disponíveis, que segundo indicadores, têm como objetivo liderar o mercado de energia. Sua exploração pretende minimizar os impactos ambientais e reduzir os altos custos do petróleo. O objetivo deste trabalho é analisar de forma sistemática os históricos e casos existentes, além de projetar sua contribuição futura como um ator no setor elétrico e proporcionar acesso à energia em áreas remotas através da integração na produção de hidrogênio via eletrólise da água, considerada um possível vetor energético substituto dos combustíveis fósseis como o petróleo. Esta tecnologia visa cumprir acordos internacionais para mitigar as mudanças climáticas, alinhando-se com o sétimo ponto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), permitindo a inclusão de localidades remotas fora da rede elétrica. Além disso, espera-se que esta pesquisa estimule o avanço acadêmico e o desenvolvimento tecnológico, visando melhorias em relação aos altos custos dos equipamentos necessários.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica, Hidrogênio verde, Geração híbrida, Sustentabilidade.

ABSTRACT

The need to reduce CO₂ emissions and consequently global warming constitutes a concern for a more sustainable future. For this reason, the integration of off-grid photovoltaic systems for hydrogen production aims to harness light from sustainable and abundantly available sources that, according to indicators, aim to lead the energy market. Their exploitation intends to minimize environmental impacts and reduce high oil costs. The objective of this work is to systematically analyze existing histories and cases, as well as to project their future contribution as a player in the electrical sector and provide access to energy in remote areas through their integration in hydrogen production via water electrolysis, considered a possible energy vector substitute for fossil fuels such as oil. This technology aims to fulfill international agreements to mitigate climate change, aligning with the seventh point of the Sustainable Development Goals (SDGs), enabling inclusion of remote locations outside the electrical grid. Moreover, this research is expected to stimulate academic advancement and technological development, aiming for improvements regarding the high costs of necessary equipment.

Keywords: Photovoltaic solar energy, Green hydrogen, Hybrid generation, Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação Esquemática De Células, Módulos e Painel Fotovoltaico	17
Figura 2 - Representação esquemática de rotas tecnológicas para obtenção de hidrogênio.....	19
Figura 3 - Coclassificação de hidrogênio por cor.	19
Figura 4 - Produção de hidrogênio utilizando fonte externa de energia	20
Figura 5 - Sistema fotovoltaica Off-Grid para Produção de Hidrogênio Verde	21
Figura 6 - Modelo híbrido de produção de energia usando fontes renováveis e não renováveis.....	24
Figura 7 - Mercado global de energia solar off-grid por região no período de 2019 a 2030	26
Figura 8 - Custo de tecnologia fotovoltaica nos últimos anos e projeções futuras	26
Figura 9 - Custo global de energia off-grid por consumo (residencial e não residencial)	27
Figura 10 - Mapa de localização e características principais regiões com maior concentração de sistemas isolados no Brasil.....	28
Figura 11. Modelo híbrido de geração fotovoltaica off-grid e produção de hidrogênio verde	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Objetivos	12
1.1.1	Geral.....	12
1.1.2	Objetivos Específicos	12
1.2	Metodologia.....	13
1.3	Estrutura de trabalho.....	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Energia Solar	14
2.2	Energia Solar Fotovoltaica	15
2.3	Hidrogênio Verde	17
2.4	Produção de Hidrogênio por Eletrólise da água.....	20
2.5	Células a Combustível	22
2.6	Sistemas Isolados (Off-Grid)	23
2.7	Descrição de sistema integrado Fv e Hv.....	23
3	TECNOLOGIAS DE SISTEMA FOTOVOLTAICA OFF-GRID E PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO.....	24
3.1	Sistemas Híbridos	24
4	CONSIDERAÇÕES FUTURAS E RECOMENDAÇÕES.....	34
5	CONCLUSÕES.....	36
	REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população global e aumento de desafios significativos tem proporcionado a exploração e o uso de combustíveis fósseis que, por sua vez, têm ocasionado diversas questões relacionadas as alterações climáticas, em especial, aquelas oferecem risco à saúde e à vida humana (Khan *et al.*, 2020). A necessidade de reduzir as emissões de CO₂ e conseqüentemente o aquecimento global constitui preocupação para um futuro mais sustentável, impulsionando a evolução tecnológica em direção a prática de eficiência e de transição energética, adotando as integrações de fontes limpas e renováveis como soluções futuras IEA (2021).

A energia elétrica tem sido consumida de forma exponencial razão pela qual a sustentabilidade de fontes convencionais é colocada em risco, na segunda metade do século XX, similarmente com dias atuais, houve conflito no Oriente Médio que colocou em risco a oferta mundial de petróleo, razão essa pela qual as vias alternativas e eficiência energética começaram a serem debatidas despromovendo assim a dependência total de fonte de origem fóssil e promovendo um investimento considerável em fontes de energia renováveis.

A Agência Internacional de Energia, no seu relatório (World Energy Investments, 2024), afirma que o investimento global nesse setor deve ultrapassar três trilhões de dólares pela primeira vez em 2024, sendo que dois trilhões serão destinados a tecnologia e infraestrutura de energia limpa.

A transição para fontes de energia renováveis e inesgotáveis não apenas mitiga os custos associados à volatilidade dos preços do petróleo, mas também promove a preservação ambiental. Alinhando-se aos compromissos internacionais, notadamente o Acordo de Paris, que estabelece a meta de limitar o aquecimento global a 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais e a 2 °C para os níveis industrializados. Ademais, o desenvolvimento e a implementação de tecnologias mais eficientes e sustentáveis fomentam a inovação e o avanço tecnológico em diversos setores da economia, contribuindo significativamente para o progresso econômico e ambiental global.

As evidências de investimentos na eletrificação do sistema para geração de energia limpa, em especial as redes isoladas e modernizadas, oferecem oportunidades claras não apenas para a geração de eletricidade, mas

também para reduzir emissões CO₂, de modo simultâneo esses investimentos visam promover a eficiência de eletricidade, proporcionando uma boa relação custo-benefício. (IEA 2023).

Para (Sun *et al.*, 2022), as regiões desprovidas de infraestrutura elétrica consolidada, e a implementação eficaz de soluções renováveis encontram obstáculos adicionais colocando um número considerável da população mundial sem acesso a este bem indispensável para as atividades econômicas. Um dos propósitos da sociedade atual em relação ao uso de energia é reduzir substancialmente a dependência de fontes de energia não renováveis, promovendo a sustentabilidade e contribuindo para a mitigação das emissões de carbono. Paralelamente, busca-se o desenvolvimento e aprimoramento das tecnologias híbridas eficientes, visando otimizar a geração, o armazenamento e a utilização eficiente de fontes renováveis.

A tecnologia FV - H₂V (solar fotovoltaico -hidrogênio verde) oferece soluções sustentáveis e economicamente viáveis especialmente para comunidade fora da rede elétrica. A proposta de integração do sistema fotovoltaico off-grid com a produção de hidrogênio verde não apenas visa atender às demandas energéticas, mas também almeja contribuir para uma era de sustentabilidade independente, capaz de resolver desafios de intermitência solar e oferecer soluções acessíveis para comunidades sem acesso à infraestrutura elétrica convencional.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

O objetivo geral do trabalho é realizar uma revisão sistemática da utilização de sistemas de geração híbridos utilizando geração solar e hidrogênio verde.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste estudo foram:

- a) Investigar o histórico da utilização da energia solar e do hidrogênio verde.
- b) Analisar os casos existentes de aproveitamento híbrido com FV e HV.
- c) Examinar as perspectivas futuras relacionadas a este tipo de aproveitamento.

1.2 Metodologia

Este trabalho segue-se a classificação de moreis (2003), como qualitativo com fins explicativos. Destaca-se a utilização de fontes recentes, com números considerado de citação num intervalo máximo de dez anos, análise dos artigos, o que foi fundamental para compreender a credibilidade de trabalho e permitir uma abordagem atualizada e embasada nas melhores práticas e descobertas voltada a energias renováveis e da sustentabilidade.

As consultas foram realizadas por meio de pesquisas online em artigos relatórios, páginas de site credíveis, empresa de pesquisa energética, Agência Internacional de Energias Agência Internacional para as Energias Renováveis, (IRENA). As fontes consultadas foram Periódicas da CAPES, repositórios universitários contribuíram significativamente para a caracterização deste trabalho.

1.3 Estrutura de trabalho

O presente segue uma metodologia estrutural em cinco capítulos. No primeiro capítulo, é apresentada a introdução ao tema junto à motivação, aos objetivos e à delimitação do assunto, metodologia e estrutura do trabalho; o segundo capítulo aborda a fundamentação teórica em que é feita a contextualização do assunto abordado, identificando lacunas existentes. Já no terceiro capítulo é abordada a integração dessas fontes renováveis para produção de hidrogênio verde com foco no sistema solar fotovoltaica off-grid empregando as suas tecnologias; o quarto capítulo retrata de considerações futuras e recomendações, e; por fim o quinto capítulo configura as conclusões do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Energia Solar

O sol fornece grande quantidade de energia, totalizando $1,7 \cdot 10^{22}$ (J) aproximadamente em 36 horas, para se ter ideia do seu potencial. Essa quantidade é equivalente à energia que pode ser obtida a partir de 3 bilhões de barris do total de recursos petrolíferos encontrados na terra, e de um ano é de $4,6 \cdot 10^{20}$ J, ou seja, a mesma quantidade de energia entregue pelo sol em uma hora (1h). (Hayat *et al.*, 2018).

A potência de luz solar está diretamente associada à sua versatilidade e ao seu potencial ilimitado. De fato, a energia solar é perfeitamente capaz de atender todas as necessidades da humanidade. Embora esse recurso seja limitado por alguns fatores como impactos ambientais, de nuvens, turbulências, efeitos térmicos, obstáculos, sazonalidade, mesmo assim continua a ser a principal fonte de energia renováveis.

Kabir *et al.* (2018) realça que evidências nas políticas de regulamentação para o setor renovável como necessárias e indispensáveis para definir diretrizes claras para o desenvolvimento de diferentes fontes de energia, ou seja, toda energia provém do sol, então partindo dessa influência, e da promoção de incentivos necessários para o aproveitamento desse recurso renovável.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética, o sol é considerado uma fonte de energia inesgotável que pode ser aproveitado na forma de calor ou luz, destacando-se os principais métodos de aproveitamento: Térmico, Concentrada e Fotovoltaico.

No aproveitamento térmico os raios do sol atingem a superfícies dos painéis coletores térmicos que aquece água no seu interior (podendo ser planos ou concentrado). Já no aproveitamento concentrada, também chamado de usinas Heliotermica, é o método que gera eletricidade usando lentes ou espelhos para concentrar a luz solar em um ponto focal. Por fim, no aproveitamento fotovoltaico é realizado por meio de radiação solar que interage com um material semicondutor gerando eletricidade diretamente.

Embora em algumas regiões do mundo esse recurso seja limitado por perturbações de fatores ambientais, como nuvens, turbulências, efeitos térmicos locais e obstáculos, entre outros, ainda assim, continua a ser a principal fonte de energia renovável. A exploração de sistema solar térmico como o aquecimento de fluidos, ou pelo aproveitamento fotônico (usando coletores solares para captar uma certa irradiação através de emissões de fótons), ou utilizando a radiação direta para gerar eletricidade. O trabalho realizado pelo (Jin *et al.*, 2024), perspectiva o crescimento de fontes de energia indica que energia de fonte de luz solar será responsável por mais de um quarto ($\frac{1}{4}$) da geração de eletricidade até o ano 2050 tornando líder de mercado renovável.

Sistemas fotovoltaicos (FV) convertem a luz solar diretamente em eletricidade utilizando materiais semicondutores como o silício, através de efeito fotovoltaico. Esses sistemas são amplamente aplicados na geração de eletricidade tanto para usos residenciais quanto comerciais, proporcionando uma forma direta de aproveitamento da energia solar para a produção de eletricidade confere-lhe assim, como fonte versátil e fundamental para transições energéticas sustentável (European Photovoltaic Industry Association, 2023).

Os dados de projeções informam que as fontes renováveis terão uma forte presença na composição da matriz energética global. Evidências dessa projeção podem ser observadas. Atualmente, no Brasil, onde o Plano Decenal de Expansão (PDE) 2013-2023 apontava que as fontes renováveis alcançariam 42,5% em 2023, um indicador superado, ou seja, para esse período o valor foi de 44,8% superando o valor inicial. (EPE, 2014). Na matriz de geração de energia elétrica, esperava-se que as renováveis representassem cerca de 86% em 2023, tendo pequena margem quanto ao indicador atingindo assim o valor expressivo de 84,8% de geração de fontes renováveis. Embora houve esforço e conseqüentemente a evolução dessas fontes, vale ressaltar que o estudo prevê a continuidade de domínio de fontes não renováveis no mundo com 85,3%, enquanto as fontes renováveis na matriz energética brasileira representam 44,8% em 2023.

2.2 Energia Solar Fotovoltaica

A Energia Solar fotovoltaica é a tecnologia de obtenção de energia através do chamado efeito fotovoltaico, que consiste na conversão direta da luz solar em eletricidade. Esta conversão é realizada por meio células fotovoltaicas (Gasparin *et al.*, 2022).

Essa fonte de energia é vista como alternativa promissora para expansão da matriz energética. O alargamento de sistema fotovoltaica considerada fundamental para políticas de alteração climáticas assim como o seu contributo indispensável na redução de consumo elétrica proveniente de fonte fósseis.

As aplicações de sistemas geradores fotovoltaica na área rural configuram como solução promissora para eletrificação rural. Entretanto cada localidade tende-se a certas especificações que podem equilibrar os benefícios com relação a aplicação dessa tecnologia (Mesquita, 2014)

Existem três tipos de sistema de geração fotovoltaica: fotovoltaico no-grid (conectado à rede, que não usa outro meio de armazenamento), off-grid (isolado ou seja que requer outro meio de armazenamento de energia) e híbrido. Cada um desses sistemas atende a diferentes aplicações de equipamento tecnológica, de acordo com suas características específicas. Suprimindo a necessidade de eletricidade em particular das zonas rurais ou qualquer lugar que não disponha de uma rede elétrica, além de poder ser a maneira mais econômica e simples de gerar energia elétrica nesses lugares

A Figura 1 ilustra no primeiro momento células fotovoltaicas, que são constituintes de módulos fotovoltaicos que formam painéis solares. A geração FV é dada com o uso de módulos FV planos (mais comuns) ou com o uso de módulos FV concentradores todos conectados a conversores estáticos que processam esta energia e a disponibilizam para uma carga ou para a rede elétrica (Urbanetz Junior, 2010).

O principal atrativo dos sistemas fotovoltaicos é que eles produzem energia elétrica sem agredir o meio ambiente (durante a sua operação) , ao transformar diretamente uma fonte de energia gratuita e inesgotável, a energia solar, em eletricidade. Além disso, a diminuição contínua no custo dos arranjos fotovoltaicos e o aumento na sua eficiência implicam um papel promissor para os sistemas de geração fotovoltaica no futuro próximo (Singh, 2013).

Figura 1 - Representação Esquemática De Células, Módulos e Painel Fotovoltaico



Fonte: Urbanetz Junior, 2010

2.3 Hidrogênio Verde

Hidrogênio Verde refere-se à produção de hidrogênio por meio eletrólise da água, utilizando eletricidade gerada a partir de fontes renováveis, como solar e eólica. É considerada uma alternativa ambientalmente sustentável, que produzido sem emissões de carbono (Kelman *et al.*, 2020)

Este recurso renovável tem sido amplamente estudado, como evidenciado no artigo "Hydrogen as an Energy Vector" de (Abdin *et al.*, 2020), que destaca seu potencial energético e suas implicações na transição energética global (Ringuedé *et al.*, 2023). Possuindo um conteúdo energético por unidade de massa que é três vezes maior que o da gasolina, tornando-o um vetor energético altamente eficiente (IEA, 2019). Este assunto ganhou destaque global após a pandemia como uma alternativa de baixa emissão de carbono podendo se tornar um substituto importante para fontes de energia derivado de petróleo (Lima; Hamzagic, 2022).

Além de eletrolise de água, que comumente realizada através de quebra de moléculas de H_2O , usando a eletricidade de fonte renovável, também é conhecido outros processos de produção. Por exemplo processo de Eletrolise Alcalina que visa a uma solução de água Hidróxido de Potássio (KOH) ou hidróxido de Sódio (NaOH). Embora considerada madura e estável apresenta limitações, o outro processo destacado é por Eletrolise de Membrana de troca de Prótons (PEM) e destaca-se o processo de Eletrolise de Carbono Fundido (MEC), é de ressaltar que essas alternativas apresentam poluição.

Em Chatenet *et al.* (2022), podemos encontrar as principais tecnologias envolvidas na produção de hidrogênio Verde. Enquanto a produção tradicional é explicada por Holliday *et al.* (2009), onde essas tecnologias envolvendo o referido processo a sua metodologia de produção por fontes renováveis é descrita por Abdin *et al.* (2020). Espera-se que a produção de hidrogênio seja viável com menor custo econômico. O gás é Hidrogênio versátil por não depender diretamente de recursos de combustíveis fósseis, podendo ser transportado para diferentes localidades.

Considerado uma alternativa promissora devido à sua capacidade de integrar múltiplas fontes de combustível para a geração de eletricidade. O hidrogênio tem potencial não apenas para contribuir significativamente para a descarbonização da economia global, mas também para promover maior competitividade e descentralização das diferentes fontes de energia (EPE, 2023)

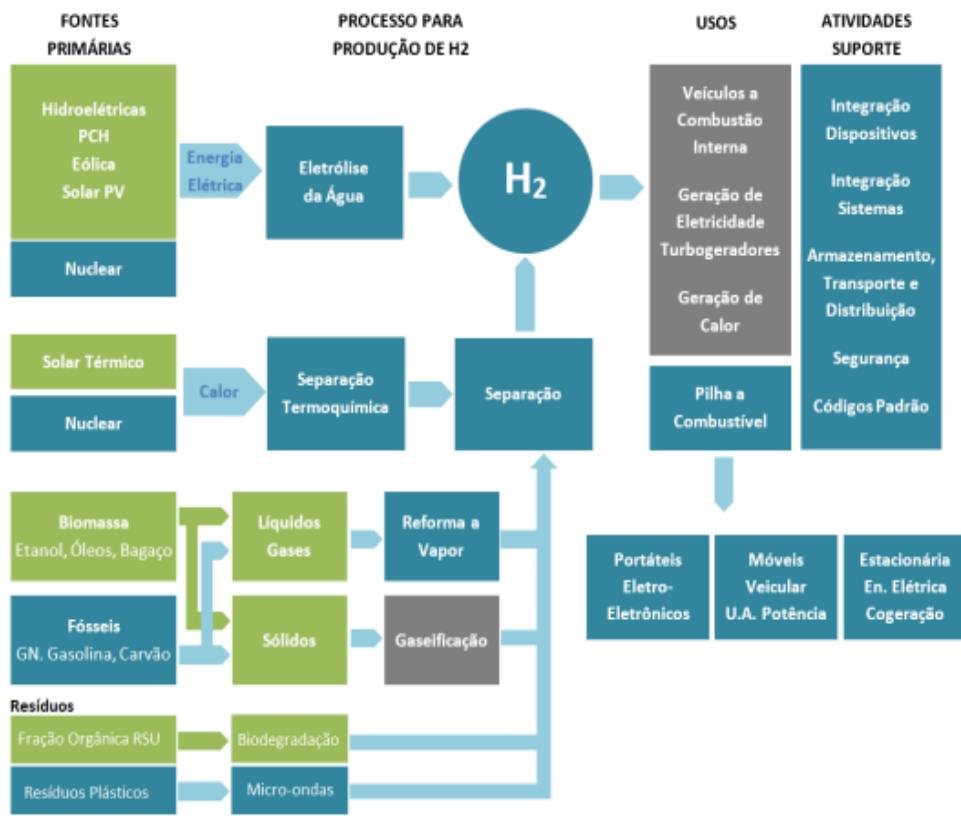
O mercado de hidrogênio (Produção, Armazenamento, Transporte e Uso) mereceu destaque no cenário internacional COP 28, nos últimos anos para políticas energéticas. Cada quilograma de hidrogênio contém aproximadamente 2,4 vezes mais energia do que o gás natural (Lara Richter, 2023).

O gás hidrogênio representa aproximadamente 75% do nosso sistema solar. Devido a essa potencialidade a crescente demanda por transição energética e a proteção climática aponta para um futuro no qual hidrogênio desempenhará um papel significativo em setores econômicos como transporte, indústria, construção e em particular na geração de energia (Lara Richter, 2023).

Na literatura existem diversos processos de obtenção de hidrogênio, seja fontes não renováveis e renováveis. Figura 2. Representa a projeção de tecnologia de obtenção de hidrogênio a partir de diferentes fontes de energia convencional assim como não convencional.

A classificação e a tecnologia de produção de hidrogênio ocorrem através de códigos e categorias, sendo as rotas mais comuns a partir de combustíveis fósseis, eletrólise e fontes alternativas de obtenção de hidrogênio. A Figura 3 apresenta os códigos de cores para cada tipo de produção de hidrogênio.

Figura 2 - Representação esquemática de rotas tecnológicas para obtenção de hidrogênio



Fonte: adaptado de PNH2 (2021).

Figura 3 - Coclasseificação de hidrogênio por cor.

	Cor	Processo
Combustíveis fósseis	H ₂ (marrom)	Carvão → H ₂ ; processo de gaseificação, syngas, T=700 °C. Emissão direta de CO ₂
	H ₂ (cinza)	Gás natural (CH ₄) → H ₂ ; reforma à vapor do metano
	H ₂ (azul)	Gás natural (CH ₄) → H ₂ ; reforma à vapor do metano com captura e armazenamento de CO ₂
	H ₂ (turquesa)	Gás natural (CH ₄) → H ₂ ; pirólise de metano com produção de carbono sólido
Eletrólise	H ₂ (rosa)	Hidrogênio produzido a partir da eletrólise da água realizada através de energia nuclear
	H ₂ (amarelo)	Hidrogênio produzido a partir da eletrólise da água por fontes mistas (combustíveis fósseis e energia renovável)
	H ₂ (verde)	Hidrogênio produzido a partir da eletrólise da água realizada através de fontes renováveis de energia
Alternativo	H ₂ (branco)	Ocorrência natural, rara na Terra. Divisão termoquímica da água produzida a partir de energia solar H ₂ produzido a partir do lixo, plástico ou biomassa

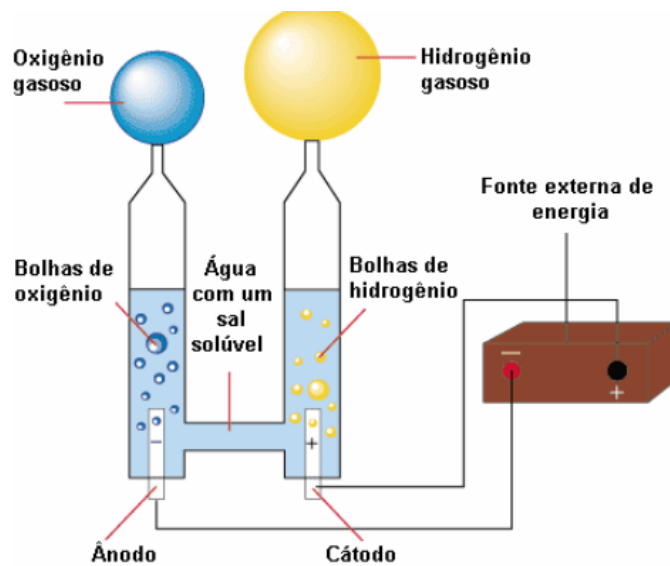
Fonte: adaptado de (Puga; Asencios, 2023)

2.4 Produção de Hidrogênio por Eletrólise da água

Segundo, De Sá *et al.*, (2014) eletrólise da água apresenta aproximadamente a 5% de produção de hidrogênio utilizando o método apresentado na Figura 4. Com o mesmo processo os resultados de rendimento de é entorno de 95% (Santos * Santos; 2005)

A Figura 4. Ilustra a produção de hidrogênio usando fonte externa de energias (baterias ou gerador) por via de eletrólise de água na qual. A passagem de uma corrente elétrica contínua CC na água quebra as ligações covalentes entre os átomos de hidrogênio e oxigênio formando íons H⁺ e OH⁻ (hidroxila). O H⁺ é descarregado no cátodo (polo negativo) formando H₂ por uma reação de redução, e o OH⁻ é descarregado no ânodo (polo positivo) por uma reação de oxidação produzindo O₂. Assim, o H₂ se concentra no cátodo e o O₂ produzido concentra-se no ânodo.

Figura 4 - Produção de hidrogênio utilizando fonte externa de energia

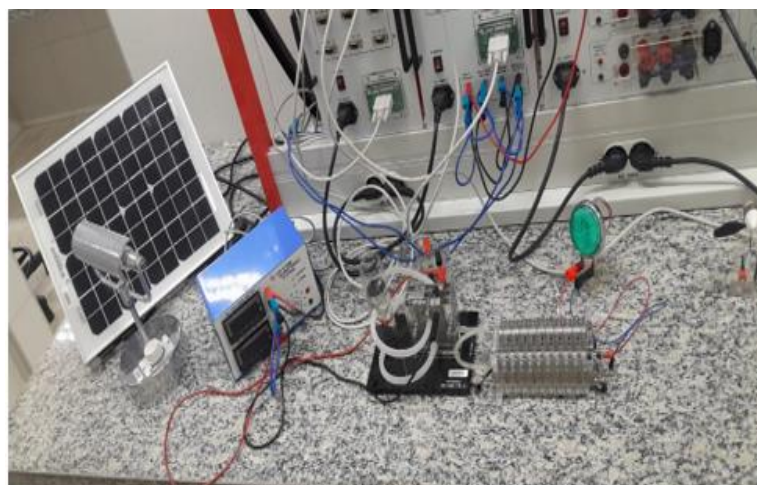


Fonte: adaptada Extraído de Longo et al (2008).

O método apresentado na Figura 4 não é um método totalmente renovável uma vez que utiliza fonte externa proveniente de combustível fósseis.

A Figura 5 apresentado ilustração de um sistema fotovoltaico off-grid integrado a um eletrizador para produzir hidrogênio totalmente sustentável. Os componentes integrados: uma lâmpada que simboliza o sol, placa solar (painéis) controlador de carga, reservatório de água, eletrizador, células combustíveis, a carga alimentada é um ventilador e uma lâmpada, volímetros para medir tensão de saída e corrente de saída.

Figura 5 - Sistema fotovoltaica Off-Grid para Produção de Hidrogênio Verde



Fonte: autor.

O armazenamento de hidrogênio verde, continua a enfrentar desafios significativos à medida que a economia do hidrogênio se expande. Existem sistemas de armazenamento disponíveis para hidrogênios nos estados gasoso, líquido e sólido (Abe *et al.*, 2019).

A abordagem usual para o armazenamento envolve sistema equipados com compressores adaptados ao estado do hidrogênio. No caso de hidrogênio verde, ele é armazenado em compartimento subterrânea ou acima do solo utilizando materiais metálicos. De acordo com Andersson *et al.* (2019), o gás (H₂) deve ser mantido em pressão entre 100 e 400 bar.

O hidrogênio é utilizado para geração de energia elétrica, através de injeção nas células combustível ou através de outra forma de armazenamento no caso de conversão em amônia NH₃, embora esse processo de eletrólise da água seja adequada para produção de hidrogênio e oxigênio por não depender de fontes convencionais, e conseqüentemente zero emissão de CO₂, mas o processo remete a uma demanda significativa de energia elétrica necessária para separar água e os seus componentes de hidrogênio e oxigênio, tornando-a o método com o custo energético significativo uma vez que os estudos indicam atualmente essa conversão é inferior a 30%, especialmente quando comparado a outras técnicas, como a reforma do gás natural que atende uma eficiência em torno de 75% ou a produção biológica de hidrogênio que não necessitaria um consumo energético significativo. Apesar de ser uma abordagem direta e rápida, o elevado custo energético associado à eletrólise da água pode limitar sua viabilidade em larga escala devido à dependência de energia elétrica.

2.5 Células a Combustível

As células de combustível de hidrogênio são dispositivos que geram eletricidade por meio de uma reação eletroquímica entre hidrogênio e oxigênio. Na qual o hidrogênio é fornecido ao ânodo e o oxigênio (geralmente do ar) é fornecido ao cátodo da célula de combustível. A reação produz a eletricidade, calor e água como subprodutos. Essas células dadas as suas versatilidades são compatíveis em diversas aplicações incluindo no transporte (por exemplo veículos com células de combustível) também na geração de energia estacionária para edifícios ou local fora de rede.

2.6 Sistemas Isolados (Off-Grid)

Os sistemas fotovoltaicos off-grid apresenta uma certa desvantagem devida as condições de intermitência solar ou por outro lado as dificuldades relacionadas ao armazenamento de excesso de energia elétrica produzida. nessa perspectiva que o hidrogênio verde poderá ser a solução para equilibrar consumo esporádicos de consumo bem como para armazenamento de energia elétrica produzida em excesso, em seguida é introduzida nas células combustível produzindo energia nos períodos de intermitência solar ou quando acontecem fator da sazonalidade.

2.7 Descrição de sistema integrado Fv e Hv

A integração dessa tecnologia permite fornecimento contínuo e sustentável de eletricidade compensando a intermitência da energia solar, durante o dia a energia solar é convertida em eletricidade, abastecendo diretamente a comunidade (Temiz, Javani, 2020), O excesso dessa energia é usado para produzir hidrogênio por meio de eletrólise, que é armazenado para uso posterior (noite ou em dia nublado), o hidrogênio armazenado é convertido de volta em eletricidade por meio de uma célula de combustível para atender à demanda energética.

3 TECNOLOGIAS DE SISTEMA FOTOVOLTAICA OFF-GRID E PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO.

As células fotovoltaicas são associadas eletricamente em configurações em série/paralelo para formar um módulo (FV). Para atender a demanda energética da carga, esses módulos são agrupados (formando um painel FV) de modo a alcançar os níveis desejados de tensão e corrente

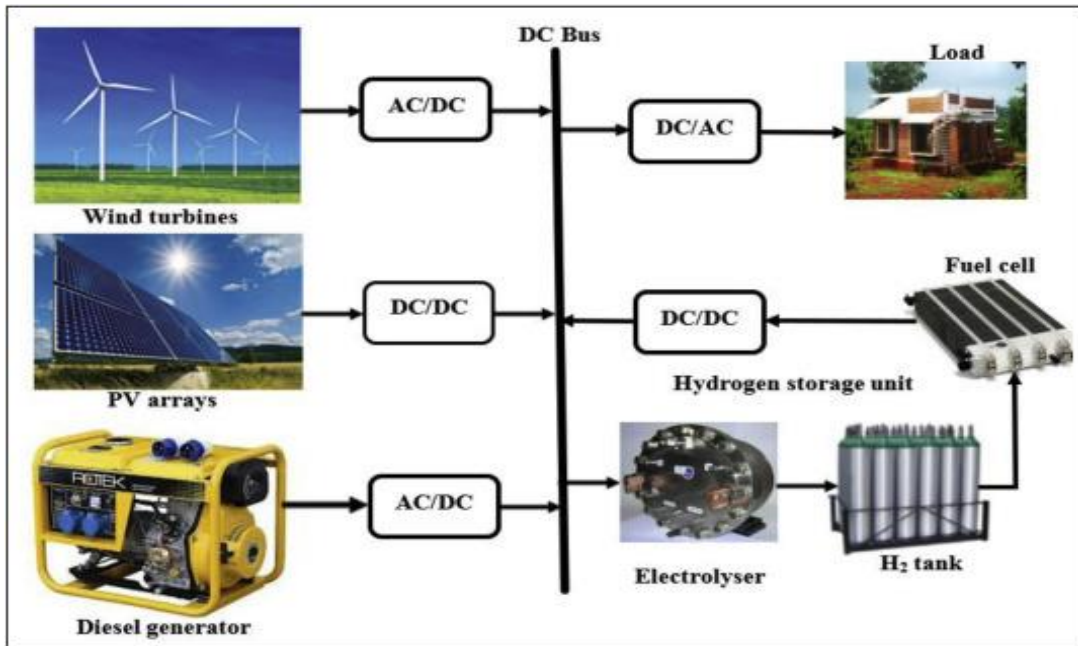
3.1 Sistemas Híbridos

A energia gerada é então armazenada em tanques de hidrogênio, os quais são usados posteriormente durante a intermitência de luz solar para a produção contínua de energia. Este processo é aplicável a todas as diferentes fontes integradas no sistema.

Alguns métodos de previsão de capacidade de geração, conforme apontado por Jin *et al.* (2024), alertam as entidades e organizações para a adoção de métodos de previsão que projetam uma evolução significativa no setor de geração, estimado atingir um total de 12,76 bilhões de KWh até 2050. Destes, 25,7% são atribuídos à geração solar, consolidando-a como líder no mercado de energias renováveis e com menor emissão de carbono.

A Figura 6 ilustra a produção de hidrogênio usando diferentes fontes como renovável e não renovável. Além disso, estimativas de pesquisa sugerem que até 2050, o consumo do sistema baseado em hidrogênio será responsável por até 12% do consumo global de energia. Mudanças recentes no mercado de energia podem acelerar esse processo (Hassan *et al.*, 2023). Essa análise holística permite ajustes dinâmicos nas previsões, considerando a interconexão complexa entre esses fatores e as necessidades emergentes de uma sociedade mais sustentável.

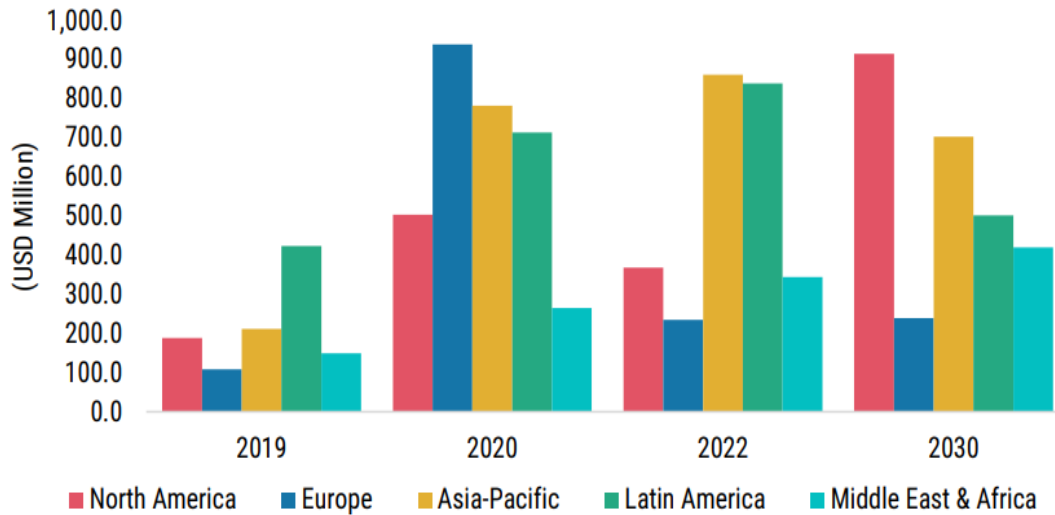
Figura 6 - Modelo híbrido de produção de energia usando fontes renováveis e não renováveis



Fonte: adaptado Koholé., (2024)

Nesse sistema geração a energia é gerada de diferentes fontes que visa compensar a insuficiência de qualquer outra fonte motivada por diversos fatores. Nessa geração é precisos a utilização de inversores de corrente que converta a corrente de determinado estado para outro, visto no primeiro com a utilização de usina eólica a corrente é gerado nessa condição em corrente AC (corrente alternada) que precisa de ser convertida em DC (corrente continua) para poder ser transportado através de linhas de distribuição ou de transmissão a uma certa distância evitando assim grandes perdas, e para ser entregue deve ser entregue em CA uma vez que a maior parte dos dispositivos eletrodoméstico usa energia em corrente alternada (CA), enquanto a fonte solar fotovoltaico gera a sua energia em corrente DC (corrente continuo) nessa condição nem precisa de inversor para poder converter a mesma para ser transportada mas sim precisa de convertida caso esteja a ser entregue diretamente onde a carga usa diversos equipamento. A da fonte de gerador diesel o processo é mesmo da fonte eólica. Lembrando que em todas as fontes presente nessa configuração de sistema híbrido para produzir o hidrogênio por eletrolise de água deve ser entre em DC, e após a sua produção e armazenamento de hidrogênio a injeção nas células é feita onde ocorre os processos em que a energia gerada é imitada também em DC dependendo a necessidade final de energia.

Figura 7 - Mercado global de energia solar off-grid por região no período de 2019 a 2030

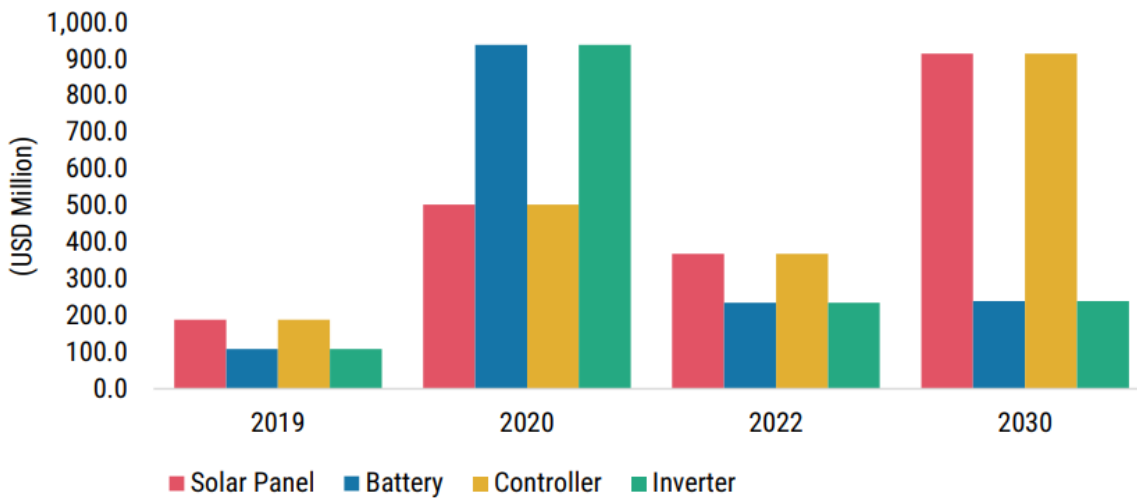


Fonte: Adaptado (MARKET RESEARCH FUTURE, 2023)

De acordo com leitura de valores aproximados do gráfico, na qual a região da Ásia – Oceania apresenta um investimento no sistema Off-Grid aproximado de 30% do valor global, do qual tende – se a 800 milhões USD em 2022. Comparando-a com Europa que apresenta o menor custo no mesmo ano na qual obteve valores aproximados de 200 milhões USD, equivalendo 7,5 % de custo de investimento.

A Figura 8 apresenta o custo global de tecnologias (equipamentos) solar off-grid para cada uma das principais tecnologias no período de 2019 a 2030 (em USD), distribuído por regiões codificadas por cores distintas.

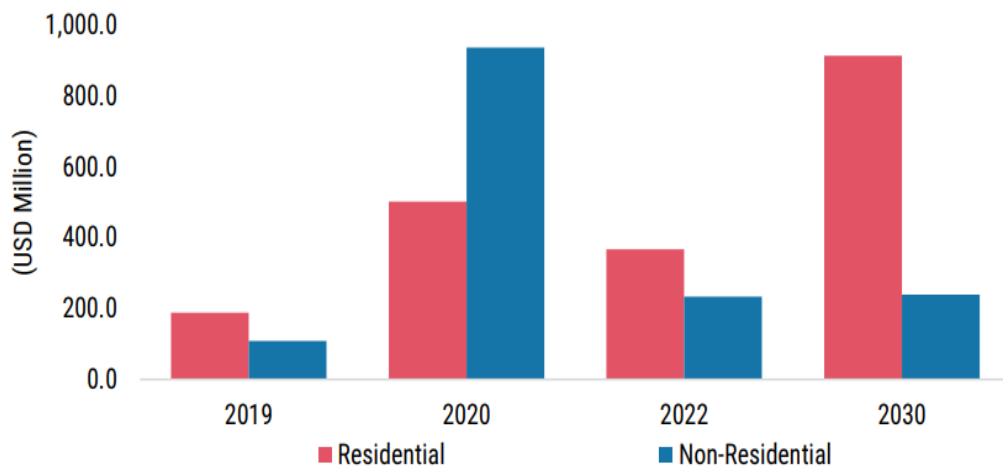
Figura 8 - Custo de tecnologia fotovoltaica nos últimos anos e projeções futuras



Fonte: Adaptado (MARKET RESEARCH FUTURE, 2023)

Na Figura 9 o gráfico ilustra o mercado global de custo de energia solar off-grid por consumo aplicação nos períodos de 2019 a 2030 USD (Milhões de Dólares americano) onde a classe residencial é representada pela cor vermelha enquanto a classe não residencial é representada pela cor azul. Os valores no eixo vertical representam o custo em dólar americano enquanto a versão horizontal representa o período estudado representado por ano.

Figura 9 - Custo global de energia off-grid por consumo (residencial e não residencial)



Fonte: adaptado (MARKET RESEARCH FUTURE, 2023)

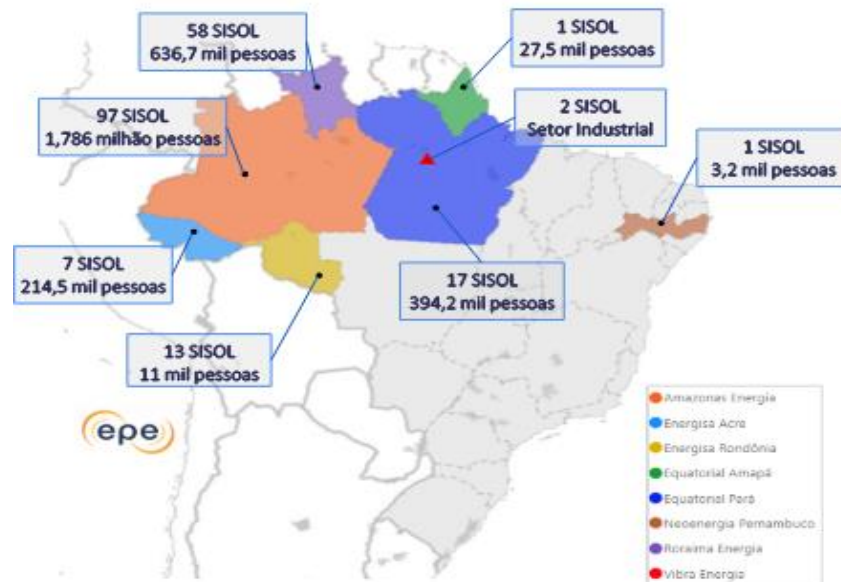
Em contrapartida, sistemas conectados à rede não necessitam de armazenamento local, pois a energia é diretamente exportada para a rede (Smith,

2018). Além disso, sistemas híbridos conectados, como discutido por Li *et al.* (2019), incorporam tanto geração local quanto armazenamento de energia por meio de baterias para otimizar o uso e a eficiência.

Situação atual de sistemas isolado no Brasil sistema isolada representa cerca de 0,53% da carga do SIN para ano 2024 predominantemente pela geração a diesel com 69% seguido pelo gás natural 21,7 % solar fotovoltaica aparecendo com valor de 0, 2%. por outro lado, a modalidade de geração distribuída dominada pela PIE com 88,2 % seguida pelo aluguel 8,3% e completada com a geração própria com 3,5% e agente distribuidora desse sistema de geração distribuída é equatorial com 16 seguida com Roraima energia com 11, amazonas energias com 7 aparecendo acre com 3, vibra energia surge com 2 e por último energias Rondônia. (EPE,2023).

A Figura 10 apresenta recortes de mapa da região brasileira com maior concentração de sistemas isolados.

Figura 10 - Mapa de localização e características principais regiões com maior concentração de sistemas isolados no Brasil



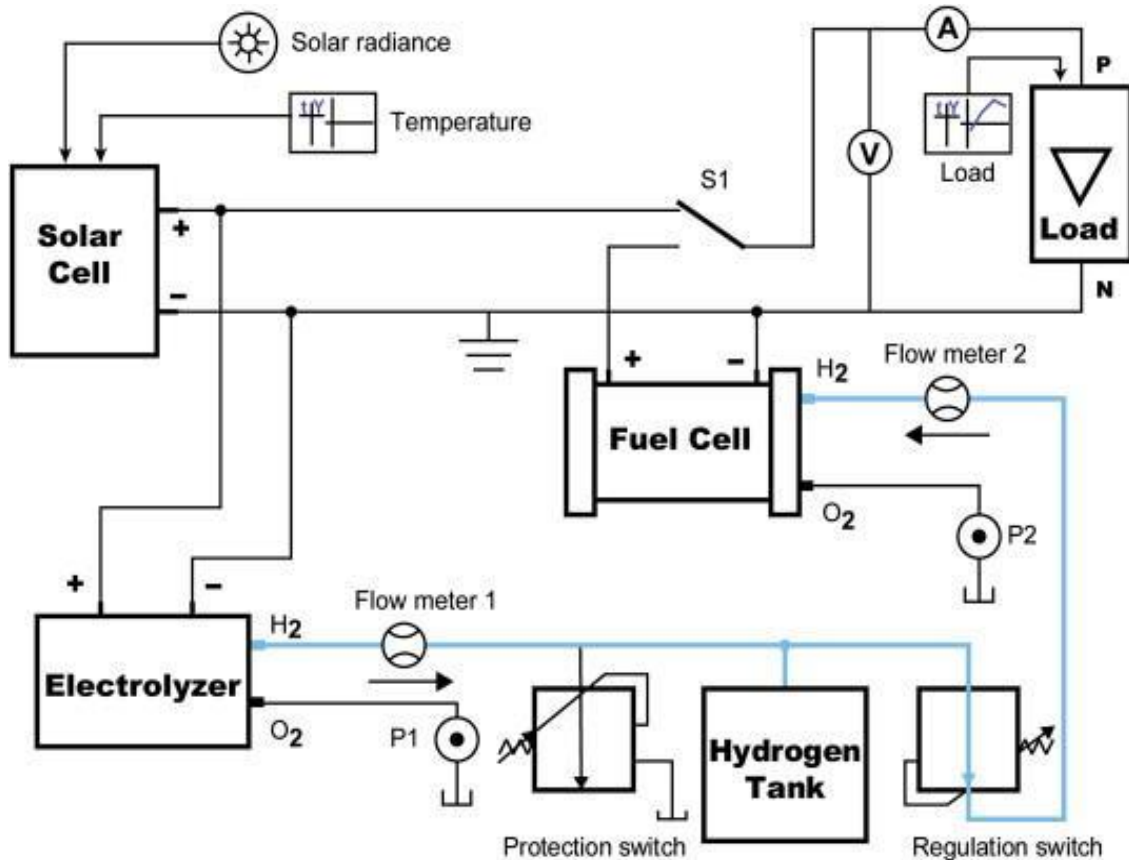
Fonte: adaptado EPE, (2023)

A Figura 11 ilustra integração de sistema solar fotovoltaica Off-Grid com eletrizador produzindo a energia para bastecendo a carga e a energia excedente para produzir hidrogênio mesmo tempo.

Nos estudos de Hassan *et al.* (2023) observa-se que a eficiência desse modelo (sistema fotovoltaico incorporado ao hidrogênio verde), além de estimar potencial de irradiância, temperatura, entre outros aspectos técnicos, deve ser levados em consideração a capacidade de eletrizador, qualidade de grupos de células fotovoltaica que permita maximizar a eficiência do sistema.

Razmi *et al.* (2022) destacam, através de análises termodinâmicas e enxergo econômicas, o armazenamento de hidrogênio como uma alternativa promissora para lidar com a intermitência solar. Apesar dos custos dessa infraestrutura e preocupações com segurança, é considerado um sistema eficiente, com menor impacto ambiental, possibilitando a geração em larga escala.

Figura 11. Modelo híbrido de geração fotovoltaica off-grid e produção de hidrogênio verde



Fonte: Adaptado (Hwang *et al.*, 2009)

No artigo Tello *et al.* (2024), de produção de hidrogênio verde por eletrólise de água alcalina assistida por energia fotovoltaica realça a importância e eficiência desse sistema integrando água alcalina com a fotovoltaica de rápida flutuação, através de projeção de sistema eficiente levando em consideração à característica do eletrolise para gerenciamento estratégico de energia.

Embora os autores tenham classificado o sistema como distribuído, o trabalho mostra que o acoplamento dessa tecnologia permite um desempenho desafiador em comparação com outros sistemas similares. Por último, mesmo afirmando que não possuem conflitos financeiros que possam influenciar no insucesso da pesquisa, alertam sobre esse fator.

No ponto de vista dos autores, embora seja um assunto desafiador, eles garantem que o sistema de energia solar-PEMFC baseado em eletrolisado de metanol seria o futuro da produção de eletricidade e armazenamento de H₂. A produção total de H₂ do sistema híbrido de metanol foi 27% maior do que a do sistema baseado em eletrizador à base de água (Awad *et al.*, 2024).

Na literatura existem diferentes modelos de armazenamento de energia de acordo com cada princípios a ser adotado já no trabalho desenvolvido com o mesmo propósito afirma a do hidrogênio foi o mais eficaz demonstrando a sua capacidade de 0, operar eficazmente para armazenamento a longo prazo e em grande escala. Nessa tecnologia, FV e eletrizador de água para produção de hidrogênio além de oferecer solução para geração de forma contínua visa maximizar o uso renovável e reduzindo o desperdício de energia. Com o propósito de reduzir limitações de sistema fotovoltaico e promover a transição energética estável. Apesar de desafios em armazenamento em grande escala e eficiência em usinas maiores, é vantajoso em escala menor. (Zhu *et al.*, 2024)

Na abordagem dos estudos feitos por Ganguly *et al.* (2010), afirmam que células de combustível funcionam por meio de eletrodos e uma membrana condutora de prótons, em que (PEMFC) desempenham um papel crucial na integração de sistemas de energia renovável, destacado para energia solar armazenada na forma de hidrogênio, servindo em diversas aplicações.

No artigo de Sedai *et al.* (2023), intitulado "*Wind energy as a source of green hydrogen production in the USA*", destacou-se a necessidade de os EUA adotarem políticas de produção de hidrogênio verde baseadas em fontes renováveis, especialmente eólicas, tanto terrestres quanto offshore. O estudo enfatizou que esse recurso da referida fonte está abundantemente disponível, ressaltando que os EUA têm condições de se tornarem o maior produtor mundial de hidrogênio, o que os tornaria também os maiores consumidores, reduzindo assim o elevado consumo de combustíveis fósseis no país. O resultado indicou que 130 GW/h de capacidade eólica seriam destinados à produção de hidrogênio. Durante o processo de produção de H₂ via eletrólise alcalina de KOH, é considerada a irradiação de 950 W/m². Com uma vazão volumétrica de 75 mL/min, sem indicação de contaminação de CO e CO₂ resultante de uma concentração de H₂ de 98,40% de pureza, o que o torna viável para uso em células de combustível (Rossi *et al.*, 2022)

No entanto, há muitas dificuldades inerentes às usinas de energia renovável (Zhang *et al.*, 2006; Abdelshafy *et al.*, 2018). Por exemplo, essas usinas são instaladas em regiões áridas e requerem um sistema de armazenamento devido à natureza intermitente das fontes renováveis (Singla *et al.*, 2021).

O estudo realizado utilizando o modelo de análise de energia "Energy plan", por Borges *et al.* (2024), considera dois cenários até 2040, nos quais a opção com menor LCOH é a configuração técnica no modo autônomo, com 1,5 GW de capacidade de eletrólise alimentada por 2 GW de energia solar fotovoltaica. Esta configuração é destacada como a única opção competitiva, utilizando um LCOH menor do que o hidrogênio cinza. É ressaltada a importância de considerar o fator regional.

No mesmo estudo de Borges *et al.* (2024) sobre produção de hidrogênio em grande escala em Portugal, é recomendada a integração de energia eólica offshore como parte do plano de infraestrutura proposto na estratégia nacional de hidrogênio e no plano nacional da rede elétrica portuguesa. Os autores também sugerem a realização de análises de viabilidade técnica e econômica para cada unidade produtora de H₂ em grande escala. Por último, destacam a importância da configuração da capacidade eletrolítica para fontes renováveis, de modo que operem de maneira eficiente e forneçam perspectivas sobre a melhor configuração técnica para produzir grandes quantidades ao menor custo.

Na proposta de sistema híbrido fotovoltaico isolado com eólico realizada na Universidade Popular Autônoma do Estado de Puebla, no México, estimou-se, através da radiação do dia 14 de julho, uma radiação máxima de $G_{\beta\alpha} = 5.827389 \text{ kW/m}^2$, com uma média anual de radiação de $5.67 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$. Os resultados foram satisfatórios em relação à radiação diária, demonstrando maior eficiência para as placas solares. O sistema híbrido como um todo mostrou-se altamente eficiente, capaz de operar com potência máxima durante cerca de cinco horas diárias, em média. No entanto, o gerador do parque eólico apresentou uma eficiência abaixo do esperado.

As avaliações de diferentes pontos críticos ligados ao armazenamento de hidrogênio em menor e grande escala levanta diversas opiniões na literatura apontando diversos fatores a se levar em consideração. (Andersson *et al.*, 2019). Afirma que a segurança e a estabilidade do material e a prevenção de vazamento são fundamentais para proteção ambiental e a eficiência do sistema, onde evidencia a disponibilidade dessa tecnologia como crucial a confiabilidade de cada tipo de realça que esse efeito (armazenamento) seria mediante com cada estado físico de hidrogênio (sólido, líquido ou gasoso) na qual comungo quanto a sua variação destaca que os custos de variação e assim como de manutenção do sistema frisando assim a importância de não apenas considerar aspecto técnico econômico do sistema.

As células de combustível que alimentam o hidrogênio energético de sistema fotovoltaico-hidrogênio isolado apresentam melhor solução para economizar mais energia do que outras baterias, pois contém uma maior densidade de energia e não se decompõem durante o armazenamento prolongado. Essas células utilizam hidrogênio armazenado para reação eletroquímica que ocorre entre hidrogênio (H_2) e o oxigênio (O) do ar. Durante esta reação, o hidrogênio é oxidado no ânodo, liberando elétrons que geram eletricidade em um circuito externo. Os íons de hidrogênio migram através de um eletrolítico para cátodo, onde se combinam com o oxigênio e elétrons para formar água, o único subproduto desse processo.

A conjugação desse sistema visa permitir fornecimento contínua de energia, desconsiderando todos os obstáculos relacionado à sazonalidade e à intermitência solar. Por outro lado, a produção de hidrogênio por via eletrolítico, mediante a quebra da molécula de água (H_2O) usando eletricidade de sistema fotovoltaico isolado, realça a necessidade reduzir a poluição ambiental pautando pela

sustentabilidade sem emissão de gases efeito estufa. Isso porque o sistema fotovoltaico off-grid comumente utiliza baterias geralmente de lítio, para armazenamento. O hidrogênio verde é visto como solução por ser um vetor energético altamente abundante na Terra, embora possa apresentar limitações em relação à sua produção, principalmente devido ao seu custo inicial elevado, questão não considerada por (Santo*Santos) ao afirmar que retorno desse sistema é em torno de 95%.

4 CONSIDERAÇÕES FUTURAS E RECOMENDAÇÕES

A integração sustentável de sistemas fotovoltaicos off-grid com a produção de hidrogênio verde é um campo de pesquisa relevância e crucial e promissor para projetos acadêmicos. Esta abordagem não apenas busca resolver desafios energéticos contemporâneos, mas também fomenta a autonomia energética em áreas remotas e contribui significativamente para a redução das emissões de carbono, alinhando-se diretamente aos objetivos de sustentabilidade global.

A sinergia entre tecnologias fotovoltaicas e a produção de hidrogênio verde oferece uma solução robusta para o armazenamento de energia, mitigando as limitações sazonais e intermitências associadas às fontes renováveis. No contexto acadêmico, esta área de pesquisa impulsiona avanços em equipamentos eficiente dos sistemas desde componentes de sistema fotovoltaicos off-grid, capacidade e eficiência de eletrizador e até armazenamento energético. Além disso, impulsiona inovações em modelos de negócio e políticas públicas através de incentivos para adoção desse recurso contribuindo para transição energética sustentável

Embora a visão global de políticas climáticas tenha estimulado discussões e estudos para diferentes entidades em busca de soluções adequadas para enfrentar esse fenômeno, no setor energético, a diminuição gradual de consumo energético de fontes fósseis por renováveis é desejável. No entanto, o sistema off-grid, apesar de garantir segurança energética consolidada, revela limitações significativas, especialmente em relação ao armazenamento de energia. Tradicionalmente realizado por bancos de baterias, este método é poluente devido ao processo de fabricação e descarte das baterias, tendo em vista a vida útil limitado. Nesse sentido, o sistema de produção de hidrogênio surge como uma solução viável para um ambiente mais limpo e eficiente, embora ainda apresente desafios em relação ao custo e eficiência comparativa.

Viabilizar a produção de H₂ V a partir de energia solar requer a melhoria tecnologia na produção, armazenamento, transporte até no seu uso final essa demanda requer uns marcos regulatórios específicos para os processos de produção e uso partindo de uma estratégia de investimento na sua cadeia produtiva, sendo assim o H₂V poderá de fato substituir as fontes convencionais consideradas poluentes.

Observa-se indicação de forte investimento do continente Asiático voltada a produção acadêmica sobre o assunto. Por outro lado, o Brasil perspectiva liderar investimentos no setor energético através de parcerias internacionais, mais com indicadores no armazenando por meio de amônia, sendo um grande contribuinte para a descarbonização mundial devido ao elevado percentual de fontes renováveis em sua matriz elétrica e energética bem equilibrada. O país se destaca especialmente na região Norte em sistemas isolados, e as pesquisas sobre produção de hidrogênio são objeto de estudo no estado do Ceará através de parcerias externas com o complexo industrial do Pecém. Embora seja uma ideia plausível, percebe-se, não menos importante, a falta de recomendação explícita em relação à execução desse tipo de projeto para consumo residencial, considerando o custo econômico das tecnologias de produção de hidrogênio e sistemas fotovoltaicos Off-Grid. Por outro lado, o tema foi pesquisado na África do Sul, mas sem grandes realizações até o momento.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho averiguou a geração de energia por meio de aproveitamento fotovoltaico com a produção de H₂V.

Os estudos encontrados apontam benefícios significativos para desenvolvimento tecnológico que podem melhorar a eficiência de produção energética. Com vista a superar esses obstáculos, perspectiva uma abordagem integrada de novas ideias, além de investimento necessário em pesquisa e desenvolvimento dos equipamentos de produção de hidrogênio verde, o caso particular de capacidade de eletrólise.

Esse tipo híbrido de geração mostra-se interessante em regiões isoladas devido à sua capacidade de compensar a sazonalidade da geração fotovoltaica com a produção de H₂V. Mesmo com esses benefícios que favorecem as políticas de alterações climáticas, ainda se verifica que essa produção é desconsiderada em termos de eficiência que ela contém.

Acreditamos que, no caso do hidrogênio verde, mesmo apresentando menor eficiência, ainda está em fase imatura. Se analisarmos a evolução das células fotovoltaicas que, após algumas décadas desde sua descoberta como elementos geradores de energia, compreende-se que inicialmente possuíam menor eficiência em comparação ao hidrogênio. Assim, para estudos futuros, espera-se que o estudo realizado seja feito com base nos fatores e indicações que possam apresentar as melhores condições, assim como é esperado o desenvolvimento tecnológico voltado para a eficiência dos equipamentos de produção de hidrogênio verde.

REFERÊNCIAS

Anderson, Joaquim *et al.* **Large-scale storage of hydrogen**. International Journal Of Hydrogen Energy, [S.L.], v. 44, n. 23, p. 11901-11919, maio de 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.063>. Disponível em: [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319919310195?via 3D hub](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319919310195?via=3D%20hub). Acesso em: 02 abr. 2024.

: PUGA, Mariana dos Santos; **ASENCIOS, Yvan Jesus Olortiga**. Avanços e limitações da produção, armazenamento e transporte de hidrogênio verde. Latin American Journal Of Energy Research: Latin American Journal of Energy Research – Lajer, Brasil, v. 10, n. 2, p. 74-93, 28 dez. 2023. Latin American Journal of Energy Research. <http://dx.doi.org/10.21712/lajer.2023.v10.n2.p74-93>. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21712/lajer.2023.v10.n2.p74-93>. Acesso em: 12 jul. 2024.

: RINGUEDÉ, Armelle *et al.* **Prospects of hydrogen and its derivative as energy vector for electricity production at high temperature: fuel cells and electrolysers**. Current Opinion In Electrochemistry, [S.L.], v. 42, p. 101401, dez. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coelec.2023.101401>. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2023.101401>. Acesso em: 11 jul. 2024.

: SINGLA, Manish Kumar *et al.* **Correction to: hydrogen fuel and fuel cell technology for cleaner future**. Environmental Science And Pollution Research, [S.L.], v. 28, n. 15, p. 19536-19536, 1 mar. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-021-13191-3>. Disponível em: [10.1007/s11356-021-13191-3](http://dx.doi.org/10.1007/s11356-021-13191-3). Acesso em: 09 jul. 2024.

ABDELSHAFY, Alaaeldin M. *et al.* **Optimal design of a grid-connected desalination plant powered by renewable energy resources using a hybrid PSO–GWO approach**. Energy Conversion And Management, [S.L.], v. 173, p. 331-347, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2018.07.083>. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.07.083>. Acesso em: 09 jul. 2024.

ABDIN, Zainul *et al.* **Hydrogen as an energy vector**. Renewable And Sustainable Energy Reviews, [S.L.], v. 120, p. 109620, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2019.109620>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119308275>. Acesso em: 29 maio 2024.

ABDIN, Zainul *et al.* **Hydrogen as an energy vector**. Renewable And Sustainable Energy Reviews, [S.L.], v. 120, p. 109620, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2019.109620>. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109620>. Acesso em: 11 jul. 2024.

ABE, J.O. *et al.* **Hydrogen energy, economy and storage: review and recommendation**. International Journal Of Hydrogen Energy, [S.L.], v. 44, n. 29, p. 1507215086, jun. 2019. Semanal. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.04.068>. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.04.068>. Acesso em: 12 jul. 2024.

ABHISHEK, Kumar *et al.* **Biochar application for greenhouse gas mitigation, contaminants immobilization and soil fertility enhancement: a state-of-the-art**

review. Science Of The Total Environment, [S.L.], v. 853, p. 158562, dez. 2022. ElsevierBV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158562>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722056613>. Acesso em: 28 jun. 2024.

AGENCY, International Energy. **Analysis and forecast to 2026: analysis and forecast to 2026.** Paris: RenewablesRenewables, 2021. 175p. <https://www.iea.org/corrections>. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2021#previous-editions>. Acesso em: 234 maio 2024.

AGENCY, International Renewable Energy. **RENEWABLE CAPACITY STATISTICS 2020.** Masdar: Renewable Capacity Statistics 2020, 2020. 66 p. [Www.irena.org](http://www.irena.org). Disponível em: https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2020.pdf?rev=1a7674fe44044cfc8788af909f28496. Acesso em: 20 jun. 2024.

AKIKUR, R.K. *et al.* **Comparative study of stand-alone and hybrid solar energy systems suitable for off-grid rural electrification: a review.** Renewable And Sustainable Energy Reviews, [S.L.], v. 27, p. 738-752, nov. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.043>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113004346>. Acesso em: 02 jul. 2024.

Amoroso da Silva Inara. Hidrogênio: **Combustível do Futuro.** Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde [on-line]. 2016, 20(2), 122-126 [data de Consulta 17 de maio de 2024]. ISSN: 1415-6938. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=26046651010> .

ANDERSSON, Joakim *et al.* **Large-scale storage of hydrogen.** International Journal Of Hydrogen Energy, [S.L.], v. 44, n. 23, p. 11901-11919, maio 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.063>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319919310195>. Acesso em: 12 jul. 2024.

AWAD, Mohamed *et al.* **A review of water electrolysis for green hydrogen generation considering PV/wind/hybrid/hydropower/geothermal/tidal and wave/biogas energy systems, economic analysis, and its application.** Alexandria Engineering Journal, [S.L.], v. 87, p. 213-239, jan. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2023.12.032>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016823011249>. Acesso em: 05 jul. 2017.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (org.). **Hidrogênio de baixo carbono: oportunidades para o protagonismo brasileiro na produção de energia limpa.** Rio de Janeiro - RJ: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2022. 113 p. Rodrigo Negreiros. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>. Acesso em: 29 maio 2024.

Bekele, Getachew *et al.* **Feasibility study of small Hydro/PV/Wind hybrid system for off-grid rural electrification in Ethiopia.** Applied Energy, [S.L.], v. 97, p. 5-15, set. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.11.059>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261911007653>. Acesso em: 02 jul. 2024.

BORGES, Rui P. *et al.* **Green Hydrogen Production at the Gigawatt Scale in Portugal: a technical and economic evaluation.** *Energies*, [S.L.], v. 17, n. 7, p. 1638, 29 mar. 2024. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/en17071638>. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en17071638>. Acesso em: 12 jul. 2024.

BOTTON, Janine Padilha. **Líquidos iônicos como eletrólitos para a reação eletroquímica:** líquidos iônicos como eletrólitos para a reação eletroquímica. 2007. 96 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Instituto de Química, Universidade Federal Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Cap. 3. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/10033>. Acesso em: 21 maio 2024.

BRASIL. **EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA.** (org.). Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio: bases para a consolidação da estratégia brasileira do hidrogênio. Brasília: Epe, 2021. 37 p. [https://www.epe.gov.br/sitespt/publicacoedadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao569/NT_Hidroge%CC%82nio_rev01%20\(1\).pd](https://www.epe.gov.br/sitespt/publicacoedadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao569/NT_Hidroge%CC%82nio_rev01%20(1).pd). Disponível em: <http://www.epe.gov.br/>. Acesso em: 06 jun. 2024.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia. Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Programa Nacional de Hidrogênio (PNH₂):** diretrizes. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2021. 24 p. 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/HidrogenioRelatriodiretrizes.pdf>. Acesso em: 21 maio 2024.

CARVALHO, Manuel Augusto Rodrigues de. **Preparação e caracterização de eletrodos de óxido níquel para eletrolisadores alcalinos de produção de hidrogênio:** preparação e caracterização de eletrodos de óxido níquel para eletrolisadores alcalinos de produção de hidrogênio. 2013. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Tecnologia e Valorização Ambiental e Produção de Energia, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Portalegre Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Porto Alegre, 2013. Cap. 1. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/17072/1/Produ%C3%A7%C3%A3o%20e%20caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20de%20el%C3%A9trodos%20de%20Ni.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2024.

CHATENET, Marian *et al.* **Water electrolysis: from textbook knowledge to the latest scientific strategies and industrial developments.** *Chemical Society Reviews*, [S.L.], v. 51, n. 11, p. 4583-4762, 2022. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/d0cs01079k>. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2022/cs/d0cs01079k>. Acesso em: 07 jun. 2024.

DAS, Debabrata. **Advances in biohydrogen production processes: an approach towards commercialization.** *International Journal Of Hydrogen Energy*, [S.L.], v. 34, n. 17, p. 73497357, set. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.12.013>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319908016893?via3DiHub>. Acesso em: 28 jun. 2024.

DENG, Junchen *et al.* **Structural, chemical, and metal-oxide-semiconductor characteristics of RF magnetron sputtered thulium oxide passivation layer on 4H-silicon carbide substrate.** *Applied Surface Science*, [S.L.], v. 657, p. 159819, jun.

2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2024.159819>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433224005324?via3DiHub> b. Acesso em: 07 jun. 07.

DUFFIE, John A. BECKMAN, William A.. **Solar Thermal Process Engineering: solar thermal process engineering**. S.l.: Wiley. Online Library, 2013. 50 p. OI: 10.1002/9781118671603. Disponível em: SBN on-line: 9781118671603. Acesso em: 20 jun. 2024.

EL-SHAFIE, Mostafa *et al.* **Hydrogen Production Technologies Overview**. Journal of Power And Energy Engineering, [S.L.], v. 07, n. 01, p. 107-154, 2019. Scientific Research Publishing, Inc.. <http://dx.doi.org/10.4236/jpee.2019.71007>. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=90227>. Acesso em: 21 jun. 2024.

FRANCO, Artur Portilho. **Sistemas Fotovoltaicos: contextualização e perspectivas para sua massificação no Brasil**. 2013. 07 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Formas Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013. Cap. 1. Disponível em: <https://www.solenerg.com.br/wpcontent/uploads/2013/02/TCC-Arthur.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2024.

FUJISHIMA, Akira; HONDA, Kenichi. **Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode**. *Nature*, [S.L.], v. 238, n. 5358, p. 37-38, jul. 1972. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/238037a0>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/238037a0# citas>. Acesso em: 21 jun. 2024.

Gâmbia. **Comissionamento de subestações e linhas em progresso: comissionamento de subestações e linhas em progresso**. 4. ed. Keur Gorgui: Ressource, 2022. 12 p. Elhadji Lansana Fofana. Disponível em: www.pe-OMVG.org. Acesso em: 19 jun. 2024.

Ganguly, A. *et al.* **Modeling and analysis of solar photovoltaic-electrolyzer-fuel cell hybrid power system integrated with a floriculture greenhouse**. *Energy And Buildings*, [S.L.], v. 42, n. 11, p. 2036-2043, nov. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.06.012>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810002057?via3DiHub>. Acesso em: 11 mar. 2024.

Ganguly, A. *et al.* **Modeling and analysis of solar photovoltaic-electrolyzer-fuel cell hybrid power system integrated with a floriculture greenhouse**. *Energy And Buildings*, [S.L.], v. 42, n. 11, p. 2036-2043, nov. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.06.012>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810002057?via3DiHub>. Acesso em: 11 mar. 2024.

GASPARIN, Fernanda Bach *et al.* **The Influence of Public Policies for the Progress of Photovoltaic Solar Generation and Diversification of The Brazilian Energy Matrix**. *Revista Virtual de Química*, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 77-81, 2022. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20210102>. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20210102>. Acesso em: 11 jul. 2024.

GLASER, Peter E. *et al.* **Power from the Sun: its future.** Science, [S.L.], v. 162, n. 3856, p.857-861, 22 nov. 1968. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.162.3856.857>. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.162.3856.857>. Acesso em: 20 fev. 2024.

GREEN, Martin *et al.* **Solar cell efficiency tables (versão 57).** Progress In Photovoltaics: Research and Applications, [S.L.], v. 29, n. 1, p. 3-15, 27 nov. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/pip.3371>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/pip.3371>. Acesso em: 20 jun. 2024.

GREEN, Martin A.; EMERY, Keith; HISHIKAWA, Yoshihiro; WARTA, Wilhelm; DUNLOP, Ewald. **Solar Cell Efficiency Tables (versão 48).** Progress In Photovoltaics: Research and Applications, [S.L.], v. 24, n. 7, p. 905-913, 17 jun. 2016. Semanal. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/pip.2788>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pip.2788>. Acesso em: 01 jul. 2024.

Hassan, Qusay *et al.* **Techno-Economic Assessment of Green Hydrogen Production by an Off-Grid Photovoltaic Energy System.** Energies, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 744, 9 jan. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/en16020744>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/2/744>. Acesso em: 01 fev. 2024.

Hassan, Qusay *et al.* **Techno-Economic Assessment of Green Hydrogen Production by an Off-Grid Photovoltaic Energy System.** Energies, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 744, 9 jan. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/en16020744>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/2/744>. Acesso em: 20 fev. 2024.

HAYAT, Muhammad Badar *et al.* **Solar energy-A look into power generation, challenges, and a solar-powered future.** International Journal Of Energy Research, [S.L.], v. 43, n. 3, p. 1049-1067, 5 nov. 2018. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1002/er.4252>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/er.4252>. Acesso em: 07 nov. 2023.

HOLLADAY, J.D. *et al.* **An overview of hydrogen production technologies.** Catalysis Today, [S.L.], v. 139, n. 4, p. 244-260, jan. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cattod.2008.08.039>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920586108004100?via3DiHub>. Acesso em: 02 jul. 2024.

Hwang, J.J. *et al.* **Dynamic modeling of a photovoltaic hydrogen fuel cell hybrid system.** International Journal Of Hydrogen Energy, [S.L.], v. 34, n. 23, p. 9531-9542, dez. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.09.100>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319909015407?via3DiHub>. Acesso em: 12 mar. 2024.

IEA (2021), **Balances Energéticos Mundiais: Visão Geral**, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview>, Licença: CC BY 4.0

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (França). **iea Member Countries; iea Association Countries. Electricity Market Report Update: outlook for 2023 and 2024.** Paris: iea, 2023. 42 p. Contact information: www.iea.org/about/contact Typeset in France by IEA - July 2023. Disponível em: <http://www.iea.org/>. Acesso em: 04 jun. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (França). **International Energy Agency**. World Energy Outlook 2023: sumário executivo. 2023. ed. França (Paris): Iea, 2023. 355 p. Disponível em: WEO 2023 Executive summary Brazilian Portuguese. Acesso em: 01 abr. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (França). **Organização Para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (org.)**. World Energy Outlook: sumário executivo. Paris: Iea. All Rights Reserved, 2020. 14p. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/8b420d70-b71d-412d-a4f0-869d656304e4/BrazilianPortuguese-Summary-WEO2020.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (França). **Organização Para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (org.)**. World Energy Outlook: sumário executivo. Paris: Iea. All Rights Reserved, 2020. 14p. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/8b420d70-b71d-412d-a4f0-869d656304e4/BrazilianPortuguese-Summary-WEO2020.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2024.

IRENA (Abu Dhabi) (org.). **RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2019: renewable power generation costs in 2019**. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2020. 144p. Publications@irena.org. Disponível em: publications@irena.org. Acesso em: 17 jun. 2024.

IRENA (Abu Dhabi) (org.). **RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2019: renewable power generation costs in 2019**. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2020. 144p. Publications@irena.org. Disponível em: publications@irena.org. Acesso em: 17 jun. 2024.

Jin, Haowei *et al.* **Long-term electricity demand forecasting under low-carbon energy transition**: based on the bidirectional feedback between power demand and generation mix. *Energy*, [S.L.], v. 286, p. 129435, jan. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2023.129435>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544223028293>. Acesso em: 16 abr. 2024.

Kabir, Ehsanul *et al.* **Solar energy: potencial and future prospects**. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, [S.L.], v. 82, p. 894-900, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.094>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117313485?via3DiHub>. Acesso em: 05 fev. 2024.

KELMAN, Rafael *et al.* Can Brazil Become a Green Hydrogen Powerhouse? *Journal Of Power And Energy Engineering*, [S.L.], v. 08, n. 11, p. 21-32, 2020. Semanal. Scientific Research Publishing, Inc.. <http://dx.doi.org/10.4236/jpee.2020.811003>. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/jpee.2020.811003>. Acesso em: 11 jul. 2024.

KHAN, Arshad Ahmad *et al.* Identifying impact of international trade and renewable energy consumption on environmental quality improvement and their role in global warming. *Environmental Science And Pollution Research*, [S.L.], v. 29, n. 23, p. 33935-33944, 15 jan. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356022185748>. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18574-8>. Acesso em: 09 jul. 2024.

KOHOLÉ, Yemeli Wenceslas *et al.* **Optimization of an off-grid hybrid photovoltaic/wind/diesel/fuel cell system for residential applications power generation employing evolutionary algorithms.** *Renewable Energy*, [S.L.], v. 224, p. 120131, abr. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2024.120131>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148124001964#fig1>. Acesso em: 04 jun. 2024.

LARA, Daniela Mueller de; RICHTER, Marc François. **HIDROGÊNIO VERDE: A FONTE DE ENERGIA DO FUTURO: hidrogênio verde: a fonte de energia do futuro.** *Novos Cadernos Naea: Novos Cadernos NAEA*, Porto Alegre, RS-Brasil, v. 26, p. 413436, 21 mar. 2023. Semanal. <https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/12746/10175>. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/12746/10175>. Acesso em: 17 maio 2023.

Lima, Leandro José Barbosa; Hamzagic, Miroslava. **Estratégias para a transição energética: revisão de literatura.** *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-17, 4 jul. 2022. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. <http://dx.doi.org/10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/sem-categoria/transicao-energetica>. Disponível em: [Strategies-for-the-Energy-Transition-Literature-Review-Estrategias-pará-la-](http://dx.doi.org/10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/sem-categoria/transicao-energetica). Acesso em: 01 abr. 2024.

LIMA, Thiago Miranda da Silva. **PROJETO DE USINAS MICROGERADORAS FOTOVOLTAICA OFF-GRID E ON-GRID NA FAZENDA ÁGUA LIMPA - UNB: projeto de usinas microgeradoras fotovoltaica off-grid e on-grid na fazenda água limpa - unb.** 2020. 106 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2020. Cap. 3. Disponível em: file:///C:/Users/BANCA/Downloads/2020_ThiagoMirandaSilvaLima_tcc.pdf. Acesso em: 11 jul. 2024.

MACHADO, Carolina T.; MIRANDA, Fabio S. **Photovoltaic Solar Energy: a briefly review.** *Revista Virtual de Química*, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 1-18, 14 out. 2014. Semanal. *Sociedade Brasileira de Química (SBQ)*. <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20150008>. Disponível em: <https://rvq.sbq.org.br/pdf/v7n1a08>. Acesso em: 06 jun. 2024.

MARKET RESEARCH FUTURE. **Off-grid solar market - Global Forecast till 2032.** Disponível em: https://www.marketresearchfuture.com/reports/off-grid-solar-market-7227?utm_term=&utm_campaign=&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=2893753364&hsa_cam=20513425143&hsa_grp=151528861085&hsa_ad=672765151113&hsa_src=g&hsa_tgt=dsa2193005918337&hsa_kw=&hsa_mt=&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gad_source=1. Acesso em: 1 jul. 2024.

MARKET RESEARCH FUTURE. **Global Off-Grid Solar Market Research Report Forecast to 2030.**: global off-grid solar market research report forecast to 2030. India: Market Research Future., 2023. 35 p. Market Research Future.

MICHAEL, Peter R. JOHNSTON, Danvers E. MORENO, Wilfrido. **A conversion guide: solar irradiance and lux illuminance.** *Journal of Measurements In Engineering*, [S.L.], v. 8, n. 4, p. 153-166, 4 dez. 2020. Semanal. JVE International Ltd.. <http://dx.doi.org/10.21595/jme.2020.21667>. Disponível em: <https://doi.org/10.21595/jme.2020.21667>. Acesso em: 11 jun. 2024.

MORESI, Eduardo. **Metodologia da Pesquisa**: metodologia da pesquisa. 2003. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão do Conhecimento e Tecnologia da Informação, Universidade Católica de Brasília – Ucb, Brasília, 2003. Cap. 2. Disponível em: 1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/34909124/MetodologiaPesquisaMoresi2003libre.pdf?1411907393=&responsecontentdisposition=inline%3B+filename%3DMetodologia_da_Pesquisa_PRO_REITORIA_DE.pdf&Expires=1720862417&Signature=N1OV1WBGibC8Blronl-fij~cq. Acesso em: 11 dez. 2024.

MUGHAL, Shafqat *et al.* **A Review on Solar Photovoltaic Technology and Future Trends**: a review on solar photovoltaic technology and future trends. International Journal Of Scientific Research In Computer Science, Engineering And Information Technology: International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology, Rajouri, India, v. 4, p. 227-235, 25 abr.2018.Semenal.https://www.researchgate.net/publication/324922616_A_Review_on_Solar_Photovoltaic_Technology_and_Future_Trends.

NOTA Técnica: **Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio**. 23. ed. Brasília: No Epe-Dea-Nt-003/2021 Rev01, 2021. 37 p. URL: <http://www.epe.gov.br>. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/NT_Hidroe%CC%82nio_rev01%20\(1\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/NT_Hidroe%CC%82nio_rev01%20(1).pdf). Acesso em: 28 mar. 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU) (Brasil). **Unic Rio (org.). Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**: transformando nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. 21. ed. Rio de Janeiro: Centro de Informação das Nações Unidas Para O Brasil (Unic Rio), 2015. 49 p. (UNIC Rio). Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org>. Acesso em: 23 fev. 2024.

Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC,2022). **Resumo para formuladores de políticas**. In: Aquecimento Global de 1,5°C: Relatório Especial do IPCC sobre os Impactos do Aquecimento Global de 1,5°C acima dos Níveis Pré-Industriais no Contexto do Fortalecimento da Resposta às Mudanças Climáticas, Desenvolvimento Sustentável e Esforços para Erradicar a Pobreza. Cambridge University Press; 2022:1-24.

Rashid, Fazlur *et al.* **Investigation of Optimal Hybrid Energy Systems Using AvailableEnergySourcesinaRuralAreaofBangladesh**. Energias:RedesdeDistribuiçãoSustentáveiselIntegraçãodeEnergiasRenováveis,[S.L.],v.14,n.18,p.5794,14set.2021.MDPIAG.<http://dx.doi.org/10.3390/en14185794>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/18/5794#B4-energies-14-05794>. Acesso em: 04 abr. 2024.

RAZMI, Amir Reza *et al.* **A green hydrogen energy storage concept based on parabolic trough collector and proton exchange membrane electrolyzer/fuel cell: thermodynamicandexergoeconomicanalysiswithmultiobjectiveoptimization**. InternationalJournalOfHydrogenEnergy,[S.L.],v.47,n.62,p.2646826489,Jul.2022.ElsevierBV.<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.03.021>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319922010011>. Acesso em: 18 abr. 2024.

RISCO-BRAVO, A. *et al.* **From green hydrogen to electricity**: a review on recent advances, challenges, and opportunities on power-to-hydrogen-to-power systems. Renewable And Sustainable Energy Reviews, [S.L.], v. 189, p. 113930, jan. 2024.

ElsevierBV.<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2023.113930>.Disponível em:ciencedirect.com/science/article/pii/S1364032123007888? via%3d Ihub. Acesso em: 17 fev. 2024.

ROSSI, Raíssa Aparecida da Silveira *et al.* **Produção de hidrogênio via eletrólise alcalina utilizando painel fotovoltaico como fonte de energia / Hydrogen production via alkaline electrolysis using photovoltaic panel as energy source**. Brazilian Journal Of Development, [S.L.], v. 8, n. 2, p. 15223-15229, 27 fev. 2022. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv8n2-443>. Disponível em:<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/44641/pdf>. Acesso em: 09 jul. 2024.

SANTANA, Carlos Ribeiro. **O aprofundamento das relações do Brasil com os países do Oriente Médio durante os dois choques do petróleo da década de 1970: um exemplo de ação pragmática**. Revista Brasileira de Política Internacional, [S.L.],v.49,n.2,p.157177,dez.2006.FapUNIFESP(SciELO).<http://dx.doi.org/10.1590/s003473292006000200009>.Disponível em:<https://www.scielo.br/j/rbpi/a/FqkZQ7mR4Hd3jKFYD46xmTQ/?lang=pt>. Acesso em: 01 jul. 2024.

SANTOS*, Fernando Miguel Soares Mamede dos; SANTOS, Fernando António Castilho Mamede dos. **O COMBUSTÍVEL “HIDROGÊNIO**. Educação, Ciência e Tecnologia: educação, ciência e tecnologia, Portugal, v. 1, n. 1, p. 252-270, 2005. Semanal. <https://revistas.rcaap.pt/millenum/article/view/8428/6014>. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/millenum/article/view/8428/6014>. Acesso em: 11 jul. 2017.

SCHERER, Lara Almeida *et al.* **FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA: energia solar**. Unicruz: XX Seminário Interinstitucional de Ensino Pesquisa Extensão, Parada Benito, CruzAltaRs,v.1,n.1,p.112,01abr.2019.Semanal.Medler@unicruz.edu.br.Disponível em :file:///C:/Users/unicafé/Downloads/FONTE%20ALTERNATIVA%20DE%20ENERGIA%20energia%20SOLAR.pdf. Acesso em: 20 jun. 2024.

SEDAI, Ashish *et al.* **Wind energy as a source of green hydrogen production in the USA**. Clean Energy, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 8-22, 1 fev. 2023. Oxford University Press (OUP).<http://dx.doi.org/10.1093/ce/zkac075>.Disponível em:<https://doi.org/10.1093/ce/zkac075>. Acesso em: 12 nov. 2024.

Singh, G.K. **Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: a review**. Energy,[S.L.],v.53,p.113,maio2013.ElsevierBV.<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.02.057>.Disponível em:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544213001758?casa_token=hZkb23gm91EAAAAA:lgyiAPgeDwEgM1xrRkWIBFwSoT0fRshzd76GIhME-hFdfQJMeJFAvW5Uu-q0naq3HSpH45-xg. Acesso em: 07 nov. 2023.

Sun, Yunpeng *et al.* **The asymmetric influence of renewable energy and green innovation on carbon neutrality in China: analysis from non-linear ardl model**. Renewable Energy, [S.L.], v.193, p.334-343, jun. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2022.04.159>.Disponível em:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148122006279>. Acesso em: 04 abr. 2024.

Temiz, Mert; Javani, Nader. **Design and analysis of a combined floating photovoltaic system for electricity and hydrogen production**. International Journal Of Hydrogen Energy, [S.L.], v. 45, n. 5, p. 3457-3469, jan. 2020. Elsevier BV.<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.12.226>.Disponível em:<https://www.scienc>

edirect.com/science/article/pii/S0360319919300230?ref=pdf_download&fr=RR2&rr=85134c9d6a1d4d0f. Acesso em: 05 fev. 2024.

TURNER, John A. *et al.* **Sustainable Hydrogen Production.** *Science*, [S.L.], v. 305, n. 5686, p. 972-974, 13 ago. 2004. American Association for the Advancement of Science(AAAS).<http://dx.doi.org/10.1126/science.1103197>.Disponívelem:<https://www.science.org/doi10.1126/science.1103197>. Acesso em: 02 jul. 2024.

URBANETZ JUNIOR, Jair. **SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDES DE DISTRIBUIÇÃO URBANAS: SUA INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA E ANÁLISE DOS PARÂMETROS QUE POSSAM AFETAR A CONECTIVIDADE:** sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade. 2010. 189 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis Sc, 2010. Cap.2. Disponível em:https://www.researchgate.net/profile/GersonTiepolo/publication/275951651_Acompanhamento_do_Desempenho_do_Sistema_Fotovoltaico_Conectado_a_Rede_Eletrica_do_Escritorio_Verde_da_UTFPR/links/554a5d120cf29f836c964e68/Acompanhamento-do-Desempenho-do-Sistema-Fotovoltaico-Conectado-a-Rede-Eletrica-do-Escritorio-Verde-da-UTFPR.pdf. Acesso em: 16 maio 2024.

Viteri, Juan P. *et al.* **A systematic review on green hydrogen for off-grid communities –technologies, advantages, and limitations.** *International Journal Of Hydrogen Energy*, [S.L.], v. 48, n. 52, p. 19751-19771, jun. 2023. Semanal. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.02.078>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319923008856?via3Dihub>. Acesso em: 24 fev. 2024.

Você deve colocar o número de Volumes ou o número de Folhas! Disponível em:https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/869/1/PB_PPGEE_M_Mesquita%20Jos%c3%a9%20Manuel_2014.pdf. Acesso em: 11 jul. 2024.

Vorobiev, Yu. *et al.* **Thermal-photovoltaic solar hybrid system for efficient solar energy conversion:** thermal-photovoltaic solar hybrid system for efficient solar energy conversion. *Solar Energy*, [S.L.], v.80, n. 2, p.170-176, fev.2006. Semanal. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2005.04.022>.Disponívelem:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X05002288?casa_token=IHBPW2ax8ZMAAAA:SKgAnz3l2qB4l7FTtpE-NyFXc13qxO3tkpXd_eTx2nLDWZjQwh3xUBME8Hw7K9-10eg8SB0Gw. Acesso em: 01 abr. 2024.

VOSTAKOLA, Mohsen Fallah *et al.* **A Review on Recent Progress in the Integrated Green Hydrogen Production Processes.** *Energies*, [S.L.], v. 15, n. 3, p. 1209, 7 fev. 2022. MDPIAG.<http://dx.doi.org/10.3390/en15031209>.Disponívelem:<https://www.mdpi.com/1996-1073/15/3/1209>. Acesso em: 07 jun. 2024.

ZAHID, Ulmer *et al.* **Techno-economic evaluation of simultaneous methanol and hydrogen production via autothermal reforming of natural gas:** techno-economic evaluation of simultaneous methanol and hydrogen production via autothermal reforming of natural gas. *Energy Conversion And Management*, [S.L.], v. 296, p. 117681, nov. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117681>.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890423010270>
. Acesso em: 21 jun. 2024.

ZHU, Mengxiang *et al.* **Techno-economic analysis of green hydrogen production using a 100 MW photovoltaic power generation system for five cities in North and Northwest China.** *Solar Energy*, [S.L.], v. 269, p. 112312, fev. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2024.112312>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X24000069>. Acesso em: 18 abr. 2024.