



UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-  
BRASILEIRA  
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO (PROGRAD)  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA – ICEN  
CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM QUÍMICA – LPQ

AUGUSTO PANZO CAMBUNDA

**Célula de Hidrogênio Acoplada a um Painel Fotovoltaico: Análise da Célula e  
Produção de Hidrogênio**

ACARAPE

2021

AUGUSTO PANZO CAMBUNDA

**Célula de Hidrogênio Acoplada a um Painel Fotovoltaico: análise da Célula e  
Produção de Hidrogênio**

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura plena em Química do Instituto de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito parcial para obtenção do título de Graduado em Licenciatura plena em Química.

Orientador: Prof. Dr. Alúcio Marques da Fonseca

ACARAPE

2021

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

---

Cambunda, Augusto Panzo.

C188c

Célula de hidrogênio acoplada a um painel fotovoltaico: análise da célula e produção de hidrogênio / Augusto Panzo Cambunda. - Redenção, 2021.

43f: il.

Monografia - Curso de Química, Instituto de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2021.

Orientador: Prof. Dr. Aluisio Marques da Fonseca.

1. Fontes alternativas. 2. Células à combustível. 3. Hidrogênio como combustível. I. Título

CE/UF/BSP

CDD 621

---

UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-  
BRASILEIRA

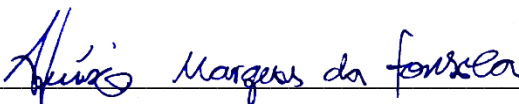
AUGUSTO PANZO CAMBUNDA

**Célula de Hidrogênio Acoplada a um Painel Fotovoltaico: Análise da Célula e  
Produção de Hidrogênio**

Monografia julgada e aprovada para obtenção do título de Graduado em Licenciatura plena em Química pela Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB).

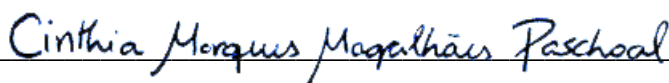
Data: 26/03/2021

Banca Examinadora:



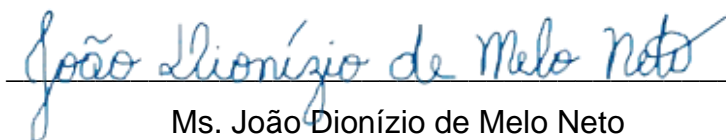
Prof. Dr. Aluísio Marques da Fonseca (Orientador)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira



Prof. Dra. Cinthia Marques Magalhães Paschoal

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (avaliadora)



Ms. João Dionízio de Melo Neto

IFCE (avaliador)

ACARAPE

2021

Dedico este trabalho à minha família e ao  
Jailson José Mafra (*in memoriam*).

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pela vida e sabedoria. Aos meus pais Cruz João e Joaquina Albano Cassule pela coragem, motivação e não só, pelos ensinamentos da vida também. Agradeço aos meus irmãos, Lurdes, Catarina, Ana, Olga, Catarina, Vitória, Oliveira, Manuel e todos os meus sobrinhos, vocês são os meus pilares.

Agradeço ao meu Orientador Alúcio Marques e sua esposa professora Regilany Colares. Aos meus professores e às minhas professoras pelos ensinamentos e experiências. Estendo meus agradecimentos ao GIQ (Grupo Interdisciplinar em Química).

Aos meus manos que estão sempre comigo e cuidam de mim Paulino Lucas Gomes, Mauro Jorge, Domingos Fernandes, António Nicolau. À minha tia Morena da Costa Ngola e ao meu primo Cláudio Cambambi.

Agradeço aos meus colegas e amigos/manos de outra mãe nação (Guiné-Bissau), Adriano Mendes, Fernando Djú e Rumísio Correia e Jailson Mafra (*in memoriam*), meu irmão que o Senhor me deu, embora não estando mais conosco, você será sempre o cara.

Os meus irmãos e companheiros de luta Emanuel C. N. Martins, Monis Neves Baptista e o Neidilénio Baltazar Soares, vocês são as minhas pilhas, estou sempre carregado devido a vossa energia, estendo meus agradecimentos, e em especial à toda a Parada Química, vos amo manos/as.

À minha entrada (2016.1), Jeremias, Hernani, Wander, William e Daniela. A toda tropa Danilson Caculo, Jerónimo Feliz Dias, Filipe Ribeiro e Juvenal de Jesus. Ao Nataniel Kuanza, Paz Paulo e Sebastião Pinto, Vicente Miúdo kimbamba muito obrigado pela força, família, vocês são especiais.

*“Tudo posso naquele que me fortalece”.*  
*(Filipenses 4:13).*

## RESUMO

Há anos que os pesquisadores desenvolvem alternativas para substituição de combustíveis provenientes do petróleo, para um combustível limpo ou com um nível de poluição menor e não esgotável. O combustível de hidrogênio encontra-se dentro desses parâmetros, ele é limpo e inesgotável. O presente trabalho tem como objetivo geral compreender o processo de produção do combustível de hidrogênio a partir do método de eletrólise e avaliar a sua funcionalidade em um LED, e como objetivos específicos montar a célula de hidrogênio, produzir o combustível de hidrogênio, quantificar o combustível de hidrogênio, verificar o funcionamento do LED acoplado com a célula. Sob a metodologia de pesquisa bibliográfica e experimental, de abordagem quali-quantitativa. A partir dos quais foi possível observar um conjunto de resultados importantes como a verificação do funcionamento da célula, gerando hidrogênio e fazendo com que haja iluminação originada do LED. Portanto a geração de hidrogênio a partir do método de eletrólise, impulsiona uma grande investigação para construção de mais equipamentos com a função de produzir o combustível de hidrogênio, uma vez que essa tecnologia de obtenção não traz danos nenhum ao meio ambiente.

**Palavras-chave:** Fonte renovável. Célula de hidrogênio. Combustível de hidrogênio. Eletrólise.



## **ABSTRACT**

For years, researchers have been developing alternatives to replace oil fuels with clean energy or with a lower, non-exhausting level of pollution. Hydrogen fuel lies within these parameters; it is clean and inexhaustible. The present work has as general objective to understand the production process of hydrogen fuel from the electrolysis method and evaluate its functionality in an LED, and as specific objectives to assemble the hydrogen cell, produce hydrogen fuel, quantify hydrogen fuel, verify the operation of the LED coupled with the cell, under the methodology of bibliographic and experimental research, of qualitative-quantitative approach. It was possible to observe a set of actual results such as the verification of the cell's functioning, generating hydrogen, and causing there to be lighting originated from the LED. Therefore, the generation of hydrogen from the electrolysis method drives a great investigation to build more equipment to produce hydrogen fuel since this obtaining technology does not bring any damage to the environment.

**Keywords:** Renewable source. Hydrogen cell. Hydrogen fuel. Electrolysis.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                  |   |
|------------------|---|
| °C               | Graus Celsius   |
| %                | Porcentagem   |
| BEM              | Balanço Energético Nacional   |
| C C              | Corrente Contínua   |
| H <sup>+</sup>   | Hídron  |
| H <sub>2</sub>   | Hidrogênio Molecular  |
| LED              | Light Emitter Diode (Diodo Emissor de Luz)                            |
| mL               | Mililitro   |
| PEMFC            | Proton Exchange Membrane Fuel Cells                                   |
| UNILAB           | Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira |
| W/m <sup>2</sup> | Watt por Metro Quadrado   |
| Wp               | Watt-pico   |

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1-</b> Organograma da montagem da célula de hidrogênio  | 17 |
| <b>Figura 2-</b> Sistema de monitoramento da corrente e tensão CC.  | 18 |
| <b>Figura 3-</b> Seringa de 20 mL hipodérmica estéril de uso único  | 19 |
| <b>Figura 4-</b> Funcionalidade do LED  | 19 |
| <b>Figura 5-</b> Painel Solar   | 22 |
| <b>Figura 6-</b> Elemento hidrogênio (número atômico, Símbolo e massa atômica)  | 25 |
| <b>Figura 7-</b> Principais fontes de energia na produção mundial de hidrogênio                                       | 25 |
| <b>Figura 8-</b> Eletrolisador  | 26 |
| <b>Figura 9-</b> Esquema de um Eletrolisador convencional. A) Ânodo, C) Catodo, E) Eletrólito, m) membrana separadora | 27 |
| <b>Figura 10-</b> Pilhas de células de combustível  | 28 |
| <b>Figura 11-</b> Montagem do Eletrolisador acoplado com o painel e a célula de combustível                           | 30 |
| <b>Figura 12-</b> Produção de Combustível de Hidrogênio   | 31 |
| <b>Figura 13-</b> Gráfico da tensão em função do tempo.   | 32 |
| <b>Figura 14-</b> Gráfico da corrente em função Tempo   | 33 |
| <b>Figura 15-</b> Gráfico do volume em função do tempo  | 34 |
| <b>Figura 16-</b> LED emitindo iluminação   | 34 |
| <b>Figura 17-</b> Medidor de radiação solar   | 35 |

## **LISTA DE TABELA**

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1-</b> Fontes alternativas de energia                                     | 13 |
| <b>Tabela 2-</b> Materiais e equipamentos e suas especificações                     | 15 |
| <b>Tabela 3-</b> Dados operacionais do painel fotovoltaico utilizado no experimento | 16 |
| <b>Tabela 4-</b> Etapas do ciclo de Carnot  | 30 |
| <b>Tabela 5-</b> Tensões das pilhas de células de combustível                       | 33 |
| <b>Tabela 6-</b> Corrente das pilhas de células de combustível                      | 34 |
| <b>Tabela 7-</b> Volumes gerados pela célula em função do tempo                     | 35 |



## **LISTA DE QUADROS**

|  |    |
|--|----|
| <b>Quadro 1-</b> Fontes alternativas de energia .....                                    | 17 |
| <b>Quadro 2-</b> Materiais e equipamentos e suas especificações.....                     | 28 |
| <b>Quadro 3-</b> Dados operacionais do painel fotovoltaico utilizado no experimento..... | 29 |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b>   | 16 |
| 1.1 Objetivos   | 18 |
| 1.1.1 Objetivo geral  | 18 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos   | 18 |
| 3.1 Energia   | 19 |
| 3.1.1 Energias renováveis   | 19 |
| 3.1.1.1 Energia Solar   | 20 |
| 3.1.1.2 Biocombustíveis   | 21 |
| 3.1.1.3 Uso sustentável das fontes renováveis                             | 22 |
| 3.1.2 Diversificação da matriz energética                                 | 22 |
| 3.2 Considerações gerais sobre a água                                     | 23 |
| 3.3 Tecnologia de produção do hidrogênio                                  | 23 |
| 3.3.1 Eletrólise da Água  | 24 |
| 3.3.2 Células de combustíveis   | 26 |
| 3.4 LED   | 27 |
| 3.5.1 Combustão   | 27 |
| 2.1 Parte experimental  | 28 |
| 2.1.1 Montagem da célula de Hidrogênio                                    | 29 |
| 2.1.2 Produção do Combustível de Hidrogênio e Geração da Energia Elétrica | 30 |
| 2.1.3 Quantificação do combustível de hidrogênio                          | 31 |
| 2.1.4 Conexão da célula com LED (Lâmpada)                                 | 32 |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>   | 34 |
| 4.1 Montagem da célula de hidrogênio                                      | 34 |
| 4.2 Produção do combustível de hidrogênio                                 | 34 |
| 4.3 Quantificação do combustível de hidrogênio                            | 37 |
| 4.4 Conexão da célula com o LED (lâmpada)                                 | 38 |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>   | 41 |
| <b>REFERÊNCIAS</b>  | 42 |

## 1 INTRODUÇÃO

Os recursos naturais são essenciais para a manutenção da vida, pois suprem suas principais necessidades humanas. Dentre eles podem-se citar os recursos biológicos (vegetais, animais e florestas), os recursos hídricos (lagos, rios, mares, oceanos), os recursos minerais (minérios, rochas, areia, argila, carvão) e os recursos energéticos (luz solar, vento, água) (PAMPLONA; CACCIAMALI, 2017).

Na antiguidade a energia calorífica provinha da queima da lenha e tinha uma aplicabilidade muito restrita, usado para o aquecimento, isto é, quando chegava o inverno, era comum no processo de cozedura de alimentos. A necessidade de um maior consumo de energia foi aumentando inevitavelmente de acordo com a modernização e crescimento populacional, fazendo com que surgissem inúmeras alternativas de buscar novas fontes. A energia hidráulica e a eólica, foram as primeiras energias alternativas a serem produzidas, mas em pequenas escalas, insuficientes para atender uma grande demanda populacional, sobretudo nas cidades. Logo após a Revolução Industrial, foi necessário um maior uso de carvão, petróleo e gás, o que acabou gerando impactos negativos, agredindo o meio ambiente (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

Esses impactos negativos estão diretamente relacionados às atividades humanas têm intensificado o uso de combustíveis fósseis, constatando-se um processo de aumento da temperatura média dos oceanos e da atmosfera da Terra (SANCHEZ, 2009). O ser humano está diante de seu maior dilema coletivo: o aquecimento global, que afeta a preservação da vida e das espécies. Ações de agressões ao meio ambiente, principalmente as emissões desmedidas de gases de efeito estufa, ameaçam causar sérios danos a toda vida (VICHI; MANSOR, 2009).

Examinando a evolução da busca e uso de energia pelo homem, nota-se claramente uma tendência para a utilização de combustíveis com menos carbono e mais hidrogênio. Em um grande período, da aurora das civilizações até a era industrial, predominou a fase sólida com o uso energético da madeira e posteriormente do carvão, combustíveis com alta presença de carbono (CAMARGO, 2004).



De acordo com Randow, Fontes, Carminati (2010), as crises do petróleo em 1973 e 1979 revelaram a fragilidade de países que só possuem matriz energética completamente baseada em petróleo e derivados. Devido às previsões de escassez de combustíveis fósseis (carvão mineral e o petróleo), que são usados para a obtenção de energia, têm surgido “fontes alternativas de energia”, estas ganham espaço cada vez maior em nossa sociedade. O carvão mineral e o petróleo são as fontes mais usadas de energia, desde os primeiros momentos das suas extrações, percebeu-se que são recursos esgotáveis. As fontes alternativas de energia encontram-se na tabela 1.

**Quadro 1-** Fontes alternativas de energia

| <b>Fontes alternativas de energia</b>                         |
|---|
| Energia Solar (painel solar, célula fotovoltaica)             |
| Energia Eólica  |
| Energia Hídrica   |
| Hidrogênio (Extraído a partir de água e fontes como o etanol) |

**Fonte:** Porciúncula (2013).

Estas fontes têm um impacto positivo na natureza, pois são menos poluidoras. Com o desenvolvimento da tecnologia, o hidrogênio vem sendo apontado como alternativa sustentável na produção de energia, por isso, para que ele seja utilizado é necessário estabelecer métodos viáveis de produção (PORCIÚNCULA, 2013).

A geração ou a produção do hidrogênio pode ser feita pelo método de eletrólise ou fotoquímica da água, ciclos termoquímicos e reforma de combustíveis orgânicos como gás natural (etanol), dentre outros. O nosso foco é a geração de hidrogênio através da eletrólise, em que há aplicação de uma determinada corrente elétrica. Esse método tem a finalidade de quebrar a molécula da água em hidrogênio (H<sub>2</sub>) e oxigênio (O) (LORA; VENTURINI, 2012).

Este trabalho propõe a montagem de uma célula de hidrogênio, acoplada a uma fonte fotovoltaica.

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral compreender o processo de produção do combustível de hidrogênio a partir do método de eletrólise e avaliar a sua funcionalidade em um Led.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Montar a célula de hidrogênio;
- Produzir o combustível de hidrogênio;
- Quantificar o combustível de hidrogênio;
- Verificar o funcionamento do Led acoplado com a célula.

Para tal, no capítulo 2 apresenta o referencial teórico, descrevendo as ideias de outros autores com trabalhos semelhantes a este, já no capítulo 3 aborda-se a metodologia usada no trabalho, sendo assim bibliográfica e experimental. O capítulo 4 apresenta os resultados encontrados e as discussões, por último temos o capítulo 5 que são as considerações finais.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Energia

A energia desempenha um papel fundamental na vida humana. Ao lado dos transportes, telecomunicações, águas e saneamento, compõe a infraestrutura necessária para incorporar o ser humano ao denominado modelo de desenvolvimento vigente. Para isso, o tratamento dos temas energéticos dentro dessa infraestrutura será de grande importância para que se caminhe em busca de um desenvolvimento sustentável. Isso requer uma abordagem multidisciplinar, num cenário composto por todas as dimensões do problema: tecnológicos, econômicos, sociais e ambientais. A energia é a força elementar e o meio pelo qual se constrói toda a cultura humana (LOPES, 2012). A questão energética é um dos fatores de extrema importância atualmente, pois, a qualidade de vida da sociedade está intimamente ligada ao consumo de energia [...] (MONTEIRO, 2012).

Para Lopes (2012), uma mudança profunda está prestes a ocorrer no modo como usamos a energia. A nova era possibilitou o uso do carvão, do petróleo e do gás natural. Analisando os avanços deste século e dos outros passados, de uma forma abrangente as transformações energéticas estão ligadas diretamente ao poder dos combustíveis fósseis. A quantidade de energia consumida por pessoa na sociedade ocidental, durante os últimos duzentos anos, foi maior que o consumo de todas as outras sociedades na história registrada. Tendo em conta que, os combustíveis fósseis usados são reservas antigas de bilhões de anos, elas futuramente entrarão em escassez.

##### 3.1.1 Energias renováveis

As fontes renováveis têm sido olhadas como a grande substituta das fontes não renováveis devido à escassez prevista daqui a alguns anos. As fontes não renováveis são as maiores causadoras da degradação do meio ambiente, sendo a principal desvantagem que ela carrega a maior. As fontes alternativas são provenientes de algumas matérias-primas, como a conversão de radiação solar em energia elétrica ou térmica, essas fontes não trazem prejuízos ao meio ambiente, elas são praticamente inesgotáveis e são chamadas de energias renováveis (SABINO, 2016).

Conforme o trabalho de Almeida et al., (2016),

Balanço Energético Nacional (BEN) de 2015, sendo os dados relativos ao ano de 2014, verificou-se no Brasil uma oferta de energia interna de fontes renováveis diversificada, mas com queda em termos relativos desde 2010. O autor indica que 60,6% da oferta de 2014 era de energia não renovável, e em 2010 se tinha 55,3%. Os indicadores de petróleo e seus derivados ficaram praticamente constantes na última década. A cana de açúcar e seus derivados uma alta em média neste mesmo período analisado.

Para Fadigas e Amaral (2011), a preocupação crescente com o aquecimento global tem levado os governos mundiais a discutirem formas de diminuir as emissões de dióxido de carbono, bem como outros gases responsáveis pelo aumento do efeito estufa na Terra. Reuniões internacionais para discutir e negociar questões relativas às mudanças climáticas e combate à pobreza têm sido realizadas desde o início da década de 1970 com o objetivo de incentivar um desenvolvimento mais sustentável. A União Europeia, com o objetivo de diminuir as emissões de gases de efeito estufa, estabeleceu metas para aumentar a participação das fontes de energia renováveis na matriz energética de 2020 para 20%.

### 3.1.1.1 Energia Solar

O efeito fotovoltaico foi descoberto em 1839 pelo físico francês Edmond Becquerel, utilizando uma célula eletroquímica para gerar uma diferença de potencial entre dois eletrodos, quando o dispositivo era submetido à luz (Figura 1). Nos anos de 1880 foram desenvolvidos os primeiros painéis solares pelo inventor Charles Fritts e foram somente instalados em 1940 em Nova York. (LIMA et al., 2020).

**Figura 1-** Painel fotovoltaico



Fonte: Autores (2021).

Na atualidade a radiação solar é uma das mais importantes fontes de energia renovável, podendo ser convertida diretamente em calor ou em energia elétrica, através de materiais e dispositivos apropriados. Um dispositivo capaz de converter a luz diretamente em energia elétrica, através da produção de uma tensão e uma corrente elétrica sob iluminação, é denominado célula fotovoltaica.

Lima et al., (2020, p. 1), dizem que

[...] um ponto qualquer na superfície do nosso planeta recebe do Sol uma densidade de potência de aproximadamente  $1000 \text{ W/m}^2$ , nos momentos de maior iluminação. Essa quantidade varia em função da estação do ano, hora do dia e localização geográfica (quanto maior a latitude menor a incidência de radiação solar).

A energia solar é a irradiação do sol ou luminosidade solar transformada em energia elétrica (CARVALHO, 2004).

### 3.1.1.2 *Biocombustíveis*

A história dos biocombustíveis no Brasil começa a partir de testes pioneiros realizados, entre os anos de 1905 e 1925, com o álcool combustível. Alguns anos depois, o professor Expedito Parente, da Universidade Federal do Ceará, descobre o biodiesel a partir do óleo de algodão e, em 1980, ele registra a primeira patente mundial de biodiesel, hoje de domínio público. (PETROBRAS, 2007).

De acordo com Leite e Leal (2007), as razões para o interesse pelos biocombustíveis são muitas e variam de um país para outro e também ao longo do tempo, sendo as principais as seguintes:

- Diminuir a dependência externa de petróleo, por razões de segurança de suprimento ou impacto na balança de pagamentos;
- Minimizar os efeitos das emissões veiculares na poluição local, principalmente nas grandes cidades;
- Controlar a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera.

Biocombustíveis são produtos à base de plantas e das quais se produz o etanol por meio do álcool da cana-de-açúcar – na Europa é produzido da beterraba – ou do amido (milho, trigo, raízes e de tubérculos). Várias são as plantas oleosas usadas para a produção do biodiesel, como por exemplo: Colza, girassol, soja, mamona e palmeira-de-dendê) (KOHLHEPP, 2010).

### 3.1.1.3 *Uso sustentável das fontes renováveis*

Devido aos problemas ambientais causados por gases de efeitos estufa emitidos por fontes não renováveis, há anos alguns países tentam solucionar esse problema de modo a acabar com essas impurezas, então olha-se como a melhor solução as fontes renováveis que carregam um histórico diferente da outra fonte e geram mais oportunidades de emprego e renda.

Essas fontes evitam todos esses problemas, “pois emitem pouquíssimo carbono em seu ciclo de vida e são praticamente inesgotáveis. Além disso, emitem muito menos poluentes locais e geram muitos empregos (biomassa gera 150 vezes mais empregos por unidade de energia que petróleo; energia solar ainda mais)” (GOLDEMBERG; LUCON, 2007, p. 14).

Esses conceitos de sustentabilidade têm de estar incorporados em planos de desenvolvimento e crescimento dos países. Através do uso de energias alternativas incluindo o combustível de hidrogênio entre outras fontes podem otimizar o desenvolvimento econômico, social e ambiental, podendo assim colocar várias sociedades no caminho da sustentabilidade.

### 3.1.2 *Diversificação da matriz energética*

Devido ao grande problema da economia mundial, o combustível vem passando por diversas mudanças relevantes. A variação constante no preço do petróleo é das principais situação. Diante disto, a matriz energética de um determinado país possui uma grande importância para o seu desenvolvimento (ALMEIDA et al., 2016).

Na perspectiva da demanda por combustíveis no Brasil, em especial para a gasolina e o etanol, estudos recentes buscam explicar a relação entre estes bens no intuito de encontrar o grau de substituição entre eles. Esta abordagem ganha ênfase se analisada conjuntamente com questões de sustentabilidade, assunto que tem permeado o centro de várias discussões. A gasolina como combustível não renovável tende à escassez em datas futuras, já o etanol, no entanto, é um combustível substituto. (ALMEIDA et al., 2016, p.2).

Para tal situação, a gasolina será substituída pelo etanol. Essa fonte de energia substituta chega a ser inesgotáveis, devido a grande produção de cana de açúcar atualmente.

### 3.2 Considerações gerais sobre a água

A água é um recurso precioso para os vivos. Os seres humanos conseguem sobreviver por algumas semanas sem comida; mas é impossível sobreviver sem água por mais que poucos dias (AZEVEDO; PEREIRA; PAIVA, 2016).

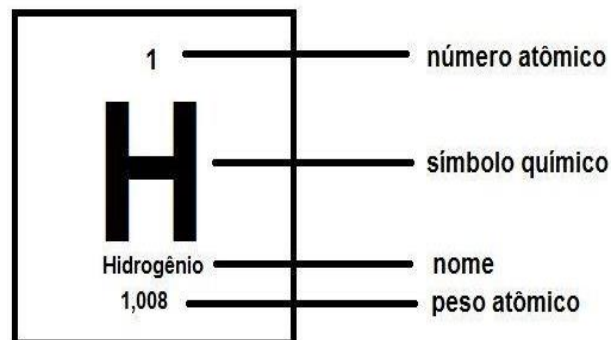
A presença ou ausência de água escreve a história, cria culturas e hábitos, determina a ocupação de territórios, vence batalhas, extingue e dá vida às espécies, determina o futuro de gerações. Nosso planeta não teria se transformado em ambiente apropriado para a vida sem a água. Desde a sua origem, os elementos hidrogênio e oxigênio se combinaram para dar origem ao elemento-chave da existência da vida (BACCI; PATACA, 2008, p.1).

A água é um dos recursos mais importante no universo. Pois sem ela, a terra seria um lugar inapropriado para os seres vivos.

### 3.3 Tecnologia de produção do hidrogênio

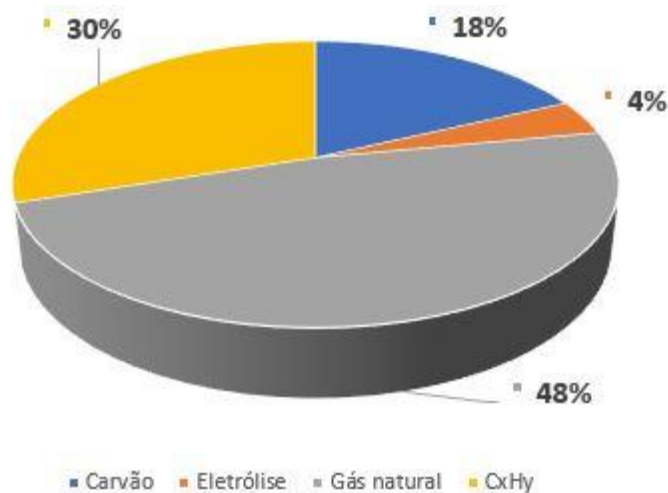
O hidrogênio é o elemento mais abundante do universo, sendo também o mais simples da tabela periódica de Mendeleev, como mostra a figura 2.

**Figura 2-**Elemento hidrogênio (número atômico, Símbolo e massa atômica)



Fonte: Caiusca (2018).

É conhecido, há centenas de anos, como um gás que se obtém quando o ácido sulfúrico diluído é posto em contato com o ferro, sendo inflamável no ar. Henry Cavendish mostrou que o gás hidrogênio se forma pela ação de ácidos, como o clorídrico ou o ácido sulfúrico em contato com metais, como o zinco e ferro. Mais tarde, Antoine Lavoisier explicou os resultados de Cavendish, e deu ao gás o nome de “hidrogênio” (H), proveniente do grego “formar-água”. Atualmente, quase 96% da produção mundial de hidrogênio derivam de combustíveis fósseis, sendo o gás natural o mais empregado, como se mostra na figura 3 (LORA; VENTURINI, 2012).

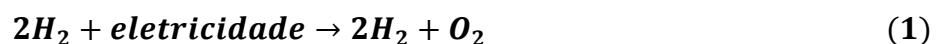
**Figura 3-**Principais fontes de energia na produção mundial de hidrogênio

Fonte: Lora e Venturini (2012).

A escolha do melhor método de produção do hidrogênio depende da quantidade que se deseja produzir. Segundo Fernandes (2008), entre as formas de obtenção do H<sub>2</sub>, existe a reforma de combustível, eletrólise e a produção biológica, sendo essa última por se tratar de tecnologia de baixo custo e por demandar pouca energia no processo de geração.

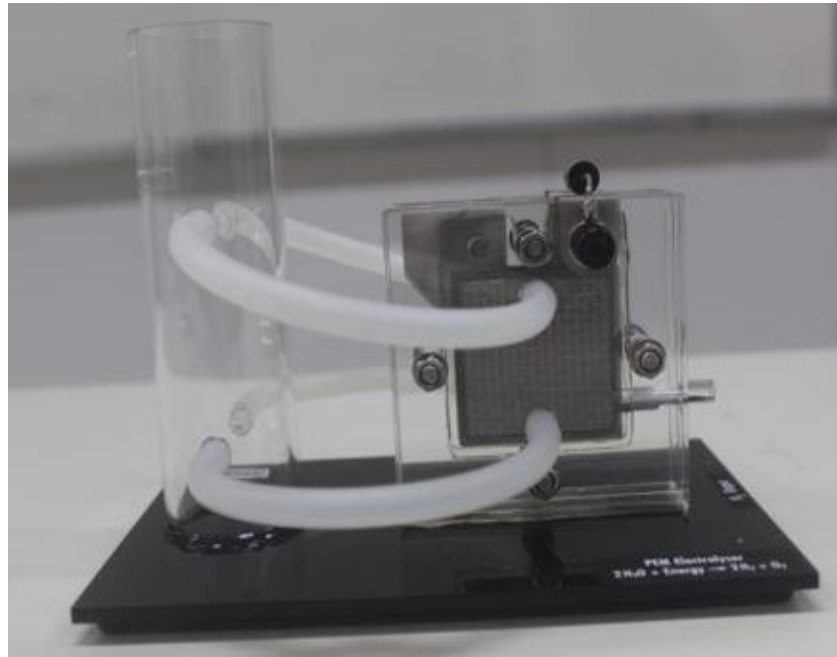
### 3.3.1 Eletrólise da Água

Este método baseia-se na utilização de energia elétrica para separar os componentes da água (hidrogênio e oxigênio). O processo acontece em um eletrolisador (Figura 4). Sendo o rendimento global de conversão ao redor de 95%. A reação de dissociação é mostrada na equação 1. Uma célula eletrolítica é formada por dois eletrodos, ânodo e cátodo, um eletrólito. Este último pode ser uma solução aquosa de KOH, NaOH, NaCl ou eletrólitos imobilizados em matrizes poliméricas. Em todos os casos uma diferença de potencial é aplicada entre eletrodos provocando a dissociação da molécula de água. Na figura 5 pode-se observar o esquema típico de um eletrolisador (LORA; VENTURINI, 2012).



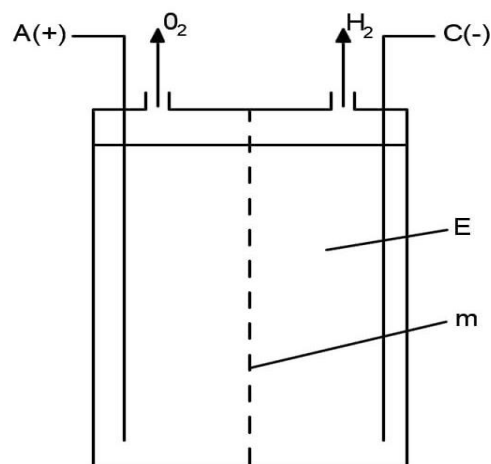


**Figura 4-Eletrolisador**



Fonte: Autores (2021).

**Figura 5**-Esquema de um Eletrolisador convencional. A) Ânodo, C) Catodo, E) Eletrólito, m) membrana separadora



Fonte: Lora e Venturini (2012).

A energia elétrica poderá vir de fontes renováveis, como a energia solar, eólica, hídrica, maremotriz, geotérmica entre outras. Com estes tipos de fontes renováveis, o uso de eletrólise tem como vantagem produzir hidrogênio de forma perfeitamente limpa, mas também têm aspectos negativos como o fato de serem necessárias grandes quantidades de energia, sendo que em geral as fontes de energia usadas não são renováveis e, conseqüentemente, poluidoras (CARVALHO, 2013).

### 3.3.2 Células de combustíveis

Uma célula de combustível é um dispositivo eletroquímico que tem a função converter a energia química em energia elétrica, desde que lhe seja fornecido um combustível e o oxidante. O combustível é o hidrogênio e o oxidante é o oxigênio (SANTOS; SANTOS, 2004). Segundo Lima, (2009), as células combustíveis podem ser definidas como sendo geradores eletroquímicos, que convertem diretamente a energia química em energias elétricas. Uma célula pode ser formada por pilhas onde a tensão individual de cada uma das células é multiplicada pelo número de pilhas existentes, considerando que as tensões de cada pilha são iguais (Figura 6).

**Figura 6-** Pilhas de células de combustível



Fonte: Autores (2021).

Santos (2003, p. 148-149), afirma que

Uma pilha de combustível é constituída por uma associação em série de células de combustível, uma vez que cada célula individual produz uma tensão aproximada de 0,8 Volt. Consegue-se assim, formar uma pilha de combustível em que temos a tensão de saída pretendida para uma determinada aplicação prática onde é  $n$  vezes a tensão individual de cada uma das células.

As *Proton Exchange Membrane Fuel Cells* (PEMFC) são conhecidas por células de Polímero Sólido devido ao facto do eletrólito ser constituído por uma membrana de material polímero sólido (consiste numa forma acidificada de Teflon) que é responsável por conduzir os íons  $H^+$  do ânodo para o cátodo. Os eletrodos são de grafite e os rendimentos apresentam valores entre 40 a 50% (SANTOS, 2003).

### 3.4 LED

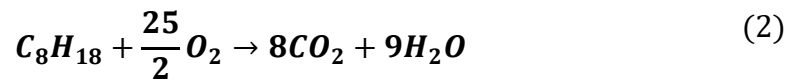
As lâmpadas LEDs apresentam baixo consumo de energia e vida útil prolongada por não possuírem filamento. Essas atendem as exigências ambientais por não possuírem mercúrio em sua composição ou qualquer outro tipo de gás nocivo ao consumidor e ao meio ambiente, se descartado de forma incorreta. Sua manutenção é reduzida, possui baixa tensão de operação, controle dinâmico de cor e intensidade variável. São mais confortáveis para os olhos por não emitirem luz ultravioleta e infravermelho (SINGH; OLIVEIRA, 2019, p.15). Segundo Santos et al., (2015), descreve LED's como sendo os Diodos Emissores de Luz ou melhor, componentes eletrônicos semicondutores que conseguem transformar a energia elétrica em luz.

A utilização do LED em forma de lâmpada, além de ser um avanço tecnológico, é muito interessante do ponto de vista dos benefícios ambientais, pois seu consumo de energia é consideravelmente inferior às lâmpadas convencionais, como as incandescentes e as fluorescentes compactas. Outros benefícios ambientais das lâmpadas de LED são as características e possibilidades de descarte final de resíduos, além da sua durabilidade. O LED é produzido com materiais atóxicos ao meio ambiente, o que faz com que possa ser descartado sem a necessidade de uma destinação e disposição final especiais (SANTOS et al., 2015, p. 596).

O Principal fator para o uso do LED é a questão ambiental, este dispositivo não apresenta danos ao meio ambiente ao contrário de outras lâmpadas que carregam substâncias que degradam o solo quando são descartadas.

#### 3.5.1 Combustão

Barreto, (2008) explica que, a combustão está relacionada à reação química de oxidação de materiais combustíveis. Os reagentes são o oxigênio e geralmente um hidrocarboneto. É uma reação química exotérmica entre um combustível e um comburente (oxigênio), formando como produto um grupo de espécies. Do mesmo modo, Wilder, (2010) afirma que a queima em motores de combustão produz vários compostos como CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, entre outros responsáveis pela poluição do meio ambiente. A utilização de fontes alternativas energéticas é dada como solução desse grande problema social e ambiental. Na equação 2 mostra-se a reação do octano, o principal constituinte da gasolina.



## 2 METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em duas partes, bibliográfica e experimental. Usou-se o método qualitativo que de acordo com os autores Marconi; Lakatos (2002), esse método compreende a busca de artigos, teses de dissertações e todo material já escrito sobre o assunto. E umas das características da pesquisa, o primeiro passo para o desenvolvimento e manipulação da mesma, de acordo com o autor a exploração técnica, sistemática e exata, onde o pesquisador tem como fundamento os estudos já realizados por teóricos anteriores. Da mesma forma, Silveira, (2004) chama este procedimento de revisão bibliográfica.

De acordo com Dalfovo, Lana e Silveira (2008), a parte experimental envolve algum tipo de experimento que deve seguir um método e rigor científico para que a estrutura se faça eficiente. Os estudos experimentais proporcionam meios para testar hipóteses. [...] (DIEHL, 2004). Tais hipóteses remeteram ao estudo da natureza quantitativa dos resultados.

### 2.1 Parte experimental

A parte experimental da pesquisa foi realizada no Laboratório de Energia Renovável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), localizada no Campus das Auroras.

Todos os reagentes e equipamentos utilizados durante o processo da pesquisa estão descritos na tabela 2 com as suas especificações.

**Quadro 2-** Materiais e equipamentos e suas especificações

| <b>Equipamentos</b>                  | <b>Marca</b>      | <b>Descrições</b>      |
|--------------------------------------|-------------------|------------------------|
| Câmara termográfica                  | Fluke Corporation | Medição de temperatura |
| Eletrolisador                        | ED Corporation    | Geração de gás         |
| Lâmpada halógena<br>(Potência 300 W) | ED Corporation    | Fonte de radiação      |
| Led                                  | ED Corporation    | Emissor de luz         |

|  |                |                                     |
|--|----------------|-------------------------------------|
| Medidor de radiação Solar                        | Tenmars        | Medição de radiação                 |
| Multímetro                                       | Minipa         | Corrente elétrica                   |
| Painel Solar                                     | Phono Solar    | Fonte elétrica                      |
| Pilhas de células de combustível                 | ED Corporation | Conversor                           |
| Seringa 20mL hipodérmica estéril                 | SR Produtos    | Medição do volume do H <sub>2</sub> |
| Sistema de monitoramento da corrente e tensão CC | ED Corporation | Medição da corrente e tensão        |

Fonte: Autores (2021).

A tabela 3 apresenta as especificações do painel fotovoltaico.

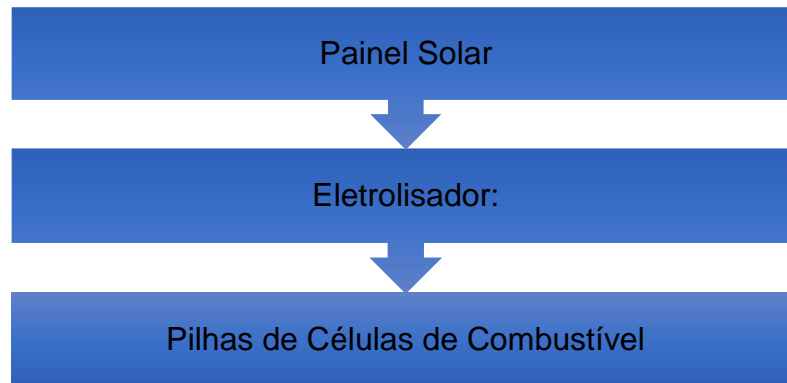
**Quadro 3-** Dados operacionais do painel fotovoltaico utilizado no experimento

| <b>Modelo Ps10M-12/A</b>      |        |
|-------------------------------|--------|
| Potência                      | 10 W   |
| Tensão de alimentação nominal | 16,8 V |
| Corrente de Potência nominal  | 0,6 A  |
| Voltagem de circuito aberto   | 21,4 V |
| corrente de curto circuito    | 0,68 A |

Fonte: (CORPORATION, 2010)

### 2.1.1 Montagem da célula de Hidrogênio

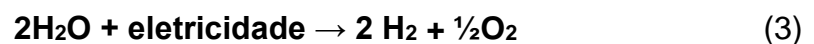
O processo de montagem da célula de hidrogênio foi baseada em propostas da Corporation, (2010). Em uma bancada de teste laboratorial colocou-se o painel solar, o eletrolisador e as pilhas de células de combustível. Os dois primeiros foram conectados com condutores elétricos, saindo do painel para os eletrodos do eletrolisador. As pilhas de células de combustível foram acopladas com o eletrolisador por meio de duas mangueiras de cristais, saindo de um canal do eletrolisador para as pilhas. O Procedimento da montagem é esquematizado na figura 7.

**Figura 7-** Organograma da montagem da célula de hidrogênio

Fonte: Autores (2021).

### 2.1.2 Produção do Combustível de Hidrogênio e Geração da Energia Elétrica

A metodologia utilizada para a produção do combustível de hidrogênio também se baseou na proposta da Corporation, (2010), utilizando o método da Eletrólise. O processo de eletrólise consiste numa reação química a partir da aplicação de uma fonte elétrica, fornecendo a tensão e corrente ligado aos elétrodos do eletrolisador. Para a presente reação, dá-se o nome de eletrólise da água.



As reações que ocorrem no eletrodo são:



Os ions  $\text{H}^+$  (prótons) vão atravessar o eletrólito do eletrodo ânodo para o cátodo pela ação da reação atrativa do hidrogênio com o oxigênio, enquanto os elétrons são forçados a circularem por um circuito externo (SANTOS, 2003).

Reação química global (combinando as reações no ânodo e no cátodo)

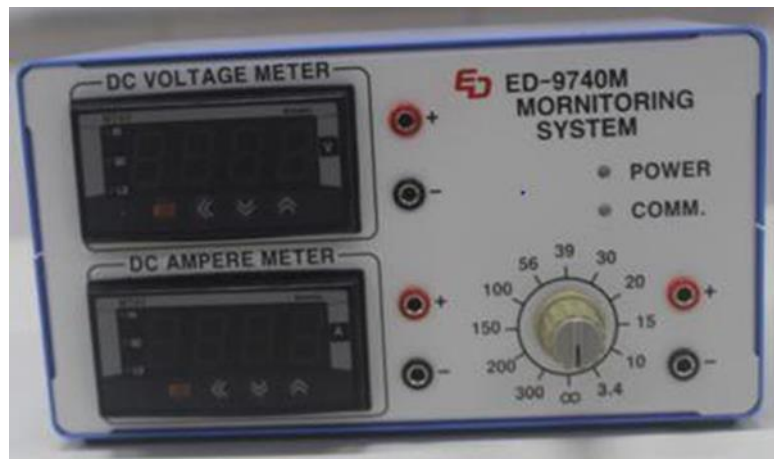


Foi ajustado o eletrolisador a uma fonte elétrica renovável, neste caso um painel solar de marca *Phono Solar* com uma potência nominal de 10 Wp. O eletrolisador e a pilha de células de combustível foram conectadas com uma

mangueira, possibilitando assim a passagem do combustível hidrogênio. O terminal positivo do painel foi o terminal positivo do eletrolisador. O terminal negativo do painel foi ligado ao terminal negativo do eletrolisador. Como mostra o esquema (Figura 8).

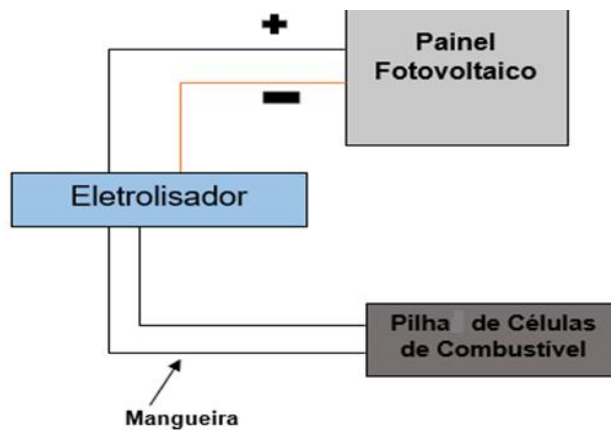
O sistema de monitoramento permite medir a tensão e a corrente elétrica do tipo CC, conforme a figura 9, em que os seus cabos foram conectados a pilha; mediu-se a tensão e a corrente elétrica.

**Figura 8-** Esquema (Painel Fotovoltaico, Eletrolisador e Pilha de células de combustível)



Fontes: Autores (2021).

**Figura 9-** sistema de monitoramento da tensão elétrica e Corrente CC



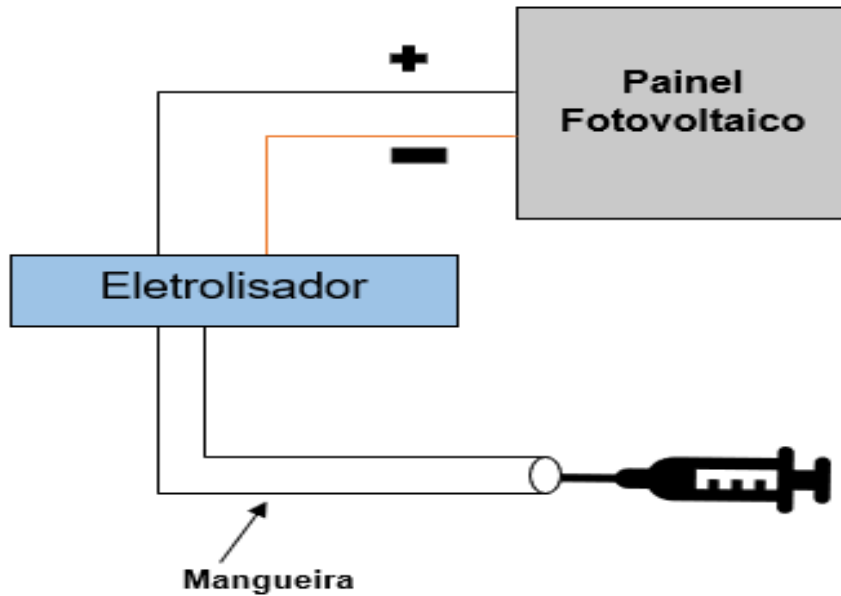
Fontes: Autores (2021)

### 2.1.3 Quantificação do combustível de hidrogênio

Conectou-se uma mangueira na saída do gás hidrogênio, isto é, no eletrolisador, a extremidade da mangueira foi conectada a uma seringa de 20 mL hipodérmica estéril de uso único. O eletrolisador foi acoplado com fonte elétrica (Painel solar). Como se tem referido, o terminal positivo do painel solar está ligado ao

terminal positivo do eletrolisador. Da mesma forma, conectou-se o negativo do painel Solar ao eletrolisador (Figura 10). Mediu-se o volume de hidrogênio em função do tempo.

**Figura 10-** Painel fotovoltaico, Eletrolisador e Seringa Hipodérmica

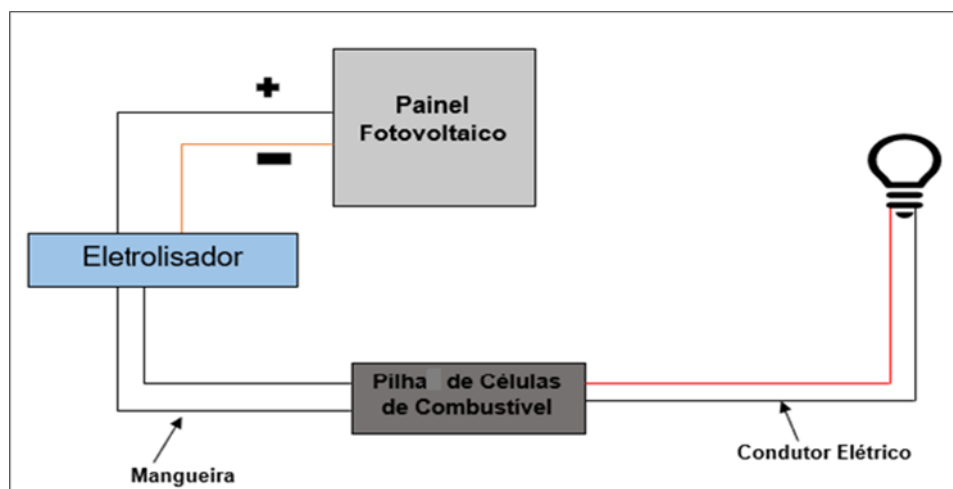


Fonte: Autores (2021).

#### 2.1.4 Conexão da célula com LED (Lâmpada)

A célula está interligada ao LED (Figura 12a), através de cabos do tipo “banana” (Figura 12b), por onde percorre a corrente elétrica. este esquema está apresentado na (Figura 11).

**Figura 11-** Painel Fotovoltaico, Eletrolisador e Pilha de células de combustível e LED

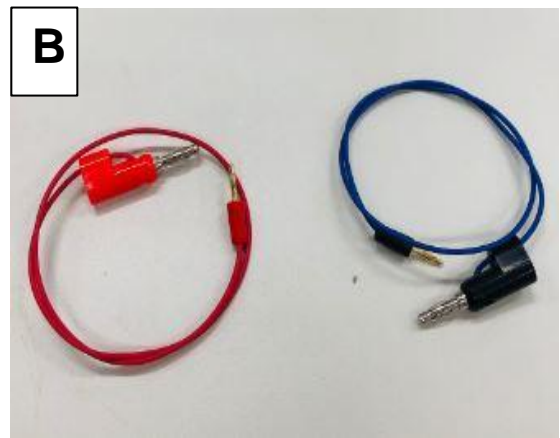


Fonte: Autores (2021).



**Figura 12-** Funcionalidade do LED

a) Esquema (painel solar, lâmpada halógena, eletrolisador, Pilha de células de combustível e LED)  
b) Cabos banana



Fonte: Autores (2021)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

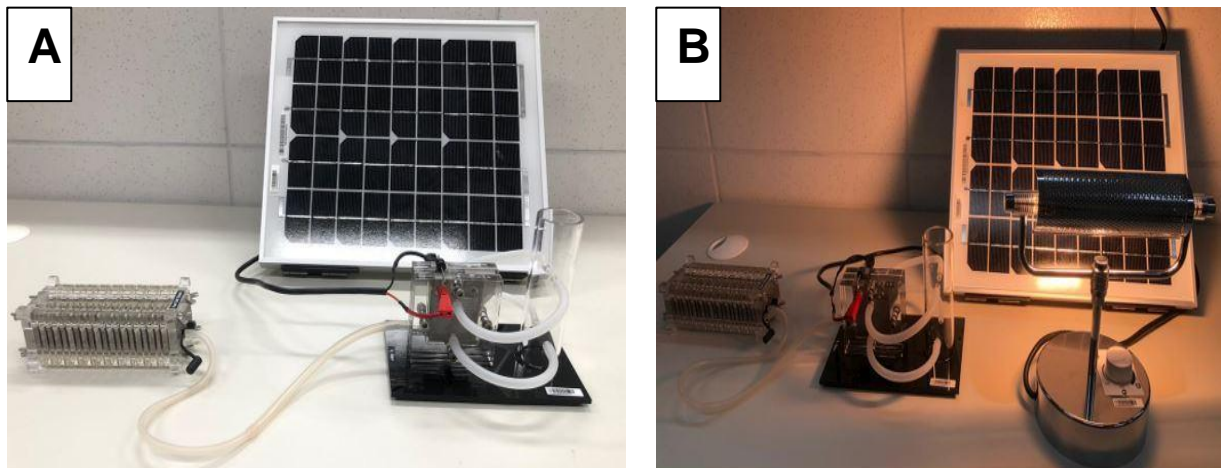
Neste capítulo serão apresentados os resultados do procedimento experimental encontrado na metodologia e discussões em torno dos mesmos, apresentando a montagem da célula, tensões elétricas, correntes elétricas e volumes de hidrogênio gerados.

### 4.1 Montagem da célula de hidrogênio

Após a realização de pesquisas bibliográficas, foi feita a montagem do Eletrolisador acoplado com o painel e a célula de combustível, Figura 13 (a) e (b).

**Figura 13-** Montagem do Eletrolisador acoplado com o painel e a célula de combustível

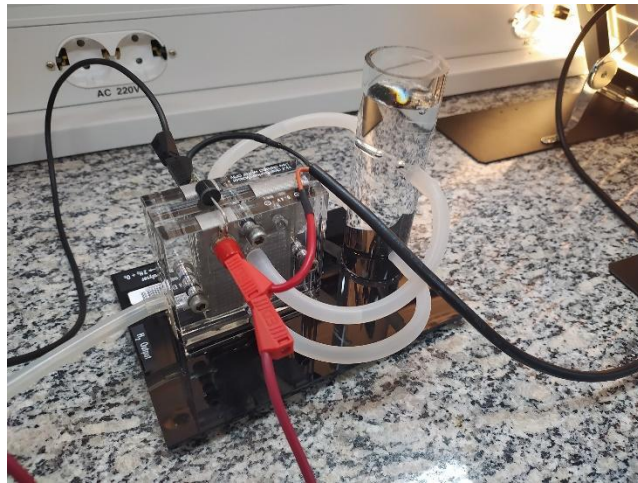
a) montagem da célula sem a lâmpada halógena      b) montagem da célula com a lâmpada halógena



Fonte: Autores (2021).

### 4.2 Produção do combustível de hidrogênio

Após todos os procedimentos realizados para a montagem, foi possível visualizar a produção do hidrogênio no interior do eletrolisador, como está apresentado na figura 14.

**Figura 14-** Produção de Combustível de Hidrogênio

Fonte: Autores (2021).

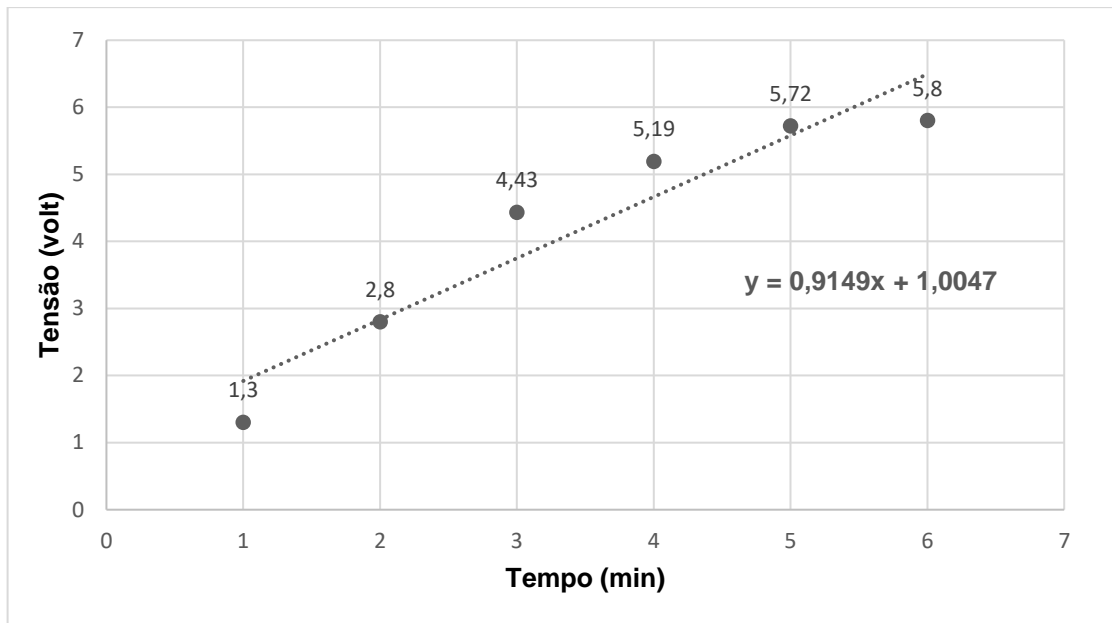
Após a verificação da geração do hidrogênio, a tabela abaixo apresenta as tensões elétrica gerada no processo (Tabela 4):

**Tabela 1-** Tensões elétrica das pilhas de células de combustível

| <b>Tempo (minuto)</b> | <b>Tensão Elétrica (V)</b> |
|-----------------------|----------------------------|
| 1                     | 1,30                       |
| 2                     | 2,80                       |
| 3                     | 4,43                       |
| 4                     | 5,19                       |
| 5                     | 5,72                       |
| 6                     | 5,80                       |

Fonte: Autores (2021).

A partir dos dados obtidos na tabela 5, foi possível fazer a construção do gráfico (figura 15) que expressasse o volume em função do tempo para melhor compreensão dos resultados.

**Figura 15-** Gráfico da tensão elétrica em função do tempo

Fonte: Autores (2021).

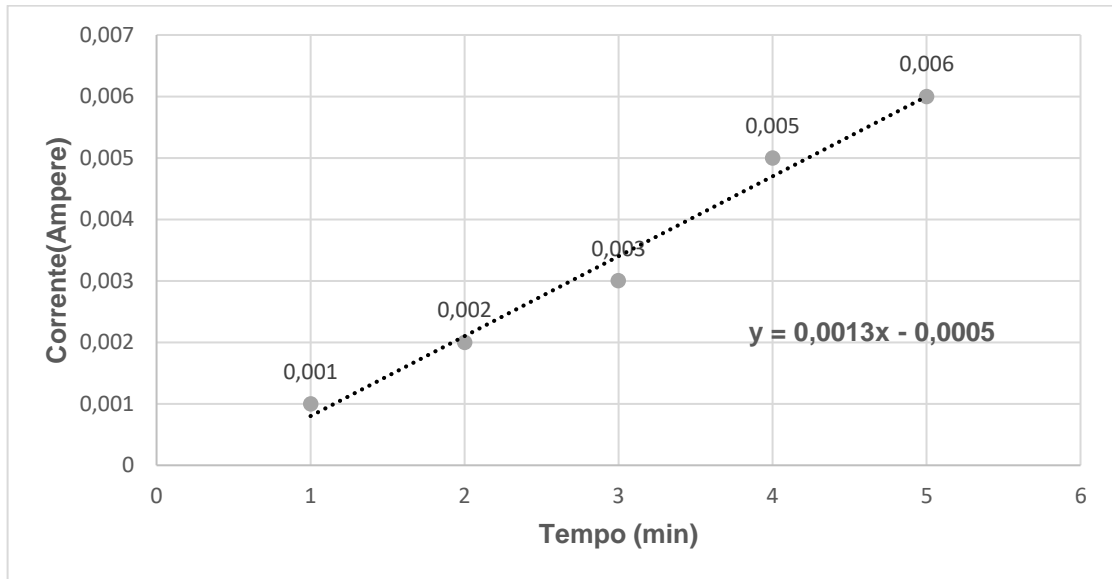
Conseqüentemente, a tabela 5 apresenta a corrente elétrica emitida pelas pilhas de células de combustível.

**Tabela 2-** Correntes elétrica da pilha de células de combustível

| <b>Tempo (minuto)</b> | <b>Corrente elétrica (Ampere)</b> |
|-----------------------|-----------------------------------|
| 1                     | 0,001                             |
| 2                     | 0,002                             |
| 3                     | 0,003                             |
| 4                     | 0,005                             |
| 5                     | 0,006                             |

Fonte: Autores (2021).

Com os dados da tabela 6, foi possível a construção do gráfico da corrente elétrica em função Tempo (Figura 16).

**Figura 16-** Gráfico da corrente elétrica em função Tempo

Fonte: Autores (2021).

### 4.3 Quantificação do combustível de hidrogênio

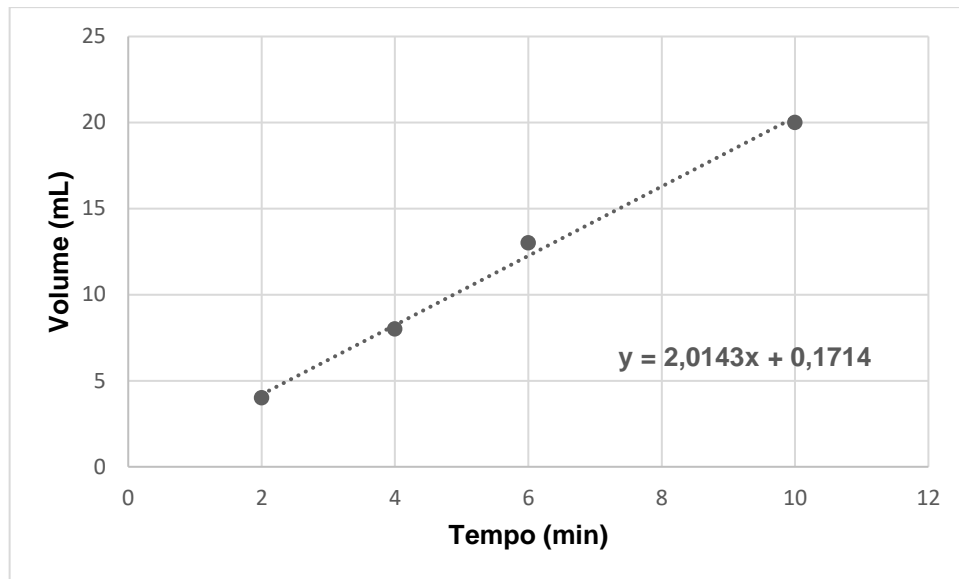
Os volumes gerados pelo eletrolisador foram a uma tensão elétrica de 3,05 Volts vindo da fonte elétrica painel fotovoltaico, encontram -se na tabela 6.

**Tabela 3-** Volumes gerado pelo eletrolisador pela célula em função do tempo

| Tempo (minuto) | Volume (mL) |
|----------------|-------------|
| 2              | 4           |
| 4              | 8           |
| 6              | 13          |
| 10             | 20          |

Fonte: Autores (2021).

Com os volumes gerados pela célula em função do tempo, apresentados na tabela 6, foi possível a construção do gráfico da figura 17.

**Figura 17-** Gráfico do volume em função do tempo

Fonte: Autores (2021).

#### 4.4 Conexão da célula com o LED (lâmpada)

Após a montagem do esquema, verificação da geração do hidrogênio fazendo com que a pilha entrasse em funcionamento, gerando uma tensão elétrica no esquema acoplado com LED, notou-se um brilho intenso no dispositivo (Figura 18).

**Figura 18-** Brilho do LED, provocado pela conexão do dispositivo com a célula

Fonte: Autores (2021).

Após a montagem do esquema (lâmpada halógena, painel solar, eletrolisador e a pilha de célula de combustível), esperava-se o funcionamento imediato do eletrolisador, após a lâmpada halógena emitir a radiação no painel solar sendo que todos os equipamentos já estavam conectados, mas foi preciso 5 minutos, para ocorrer a quebra da água.

Com o medidor de radiação (Figura 18), percebeu-se que a fonte de radiação solar a lâmpada halógena emitia uma radiação igual a  $1350 \text{ W/m}^2$  para o painel em uma distância aproximadamente de 30 cm. Esta radiação de  $1350 \text{ W/m}^2$  foi convertida em 3,05 volt pela fonte fotovoltaica. Percebeu-se que à Combustível de Membrana Polimérica Trocadora de Prótons (PEMFC), opera a uma temperatura de  $25^\circ\text{C}$ .

Para Linardi, (2008), as células a membrana polimérica trocadora de prótons (*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*), operam na faixa de temperatura ambiente até  $80^\circ\text{C}$ .

**Figura 19-** Medidor de radiação solar



Fonte: Autores (2021).

Verificou-se que a tensão desempenha um papel fundamental na produção do hidrogênio. Foi aplicada no eletrolisador uma tensão de 3,05 Volts, vindo da fonte elétrica painel fotovoltaico. Esta tensão se manteve constante até o final do experimento. A tensão funcional do eletrolisador é de 4 volts, estipulada pelo fabricante. Percebeu-se que o eletrolisador usado também funciona a uma tensão de 3,05 Volts. No entanto, o gasto de energia elétrica foi baixo daquilo que se esperava.

A tabela 4 mostra as tensões elétricas gerada pela célula em função do tempo, pelos dados apresentados na tabela no tempo máximo de 6 minutos, apresenta uma tensão máxima de 5,80 Volts, neste caso a tensão é proporcional ao tempo, pode ser observado no gráfico da figura 15. Percebeu-se que o eletrolisador precisa de tensão,

já a célula gera a tensão, segundo (SANTOS, 2003), a eletrólise da água requer energia elétrica, enquanto que a célula de combustível liberta energia elétrica.

A tabela 5 apresenta diferentes valores de corrente elétrica em função do tempo, conseguiu-se perceber que a corrente elétrica surgiu após um minuto do funcionamento do esquema, a uma tensão elétrica de 2 volts. Santos, (2003) essa corrente elétrica percorre no sistema em aproximadamente 1,4 Volts, assemelhando-se o observado neste experimento. Com a aplicação de uma tensão inferior a este valor não existe corrente em circulação, logo não se vai dar a eletrólise (decomposição da água) que levaria a que se libertasse oxigénio (ânodo) e hidrogénio (cátodo). A circulação da corrente na pilha de células de combustíveis depende muito da tensão atingida. No gráfico da figura 16 corrente versus o tempo, notou-se que a corrente aumenta em função do tempo. Segundo Filho, (2008), um aumento na tensão, gera um aumento na corrente.

Os volumes de hidrogénio medidos (tabela 6) em função do tempo, foram de acordo a pressão do gás, proveniente do eletrolisador. A pressão do gás empurra o pistão até um certo valor da seringa. No gráfico da figura 17, volume de hidrogénio versus tempo, é possível observar que o volume de hidrogénio libertado aumenta em função do tempo (mantendo-se o valor da tensão constante a 3,05 Volts).

Como forma de demonstrar a conversão dessa energia química em energia elétrica do nosso sistema, a utilização de um LED foi fundamental, sendo de pequeno porte, conseguiu-se perceber que ele funciona com uma tensão abaixo de 10 volt. Rahman, (2009), afirma que existem diferentes técnicas para reduzir o consumo de energia, sendo uma a substituição das lâmpadas ineficientes (lâmpadas incandescentes) por lâmpadas eficientes (*Light Emitter Diode* – LED).



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho de conclusão de curso teve, no primeiro momento, como proposta base realizar a montagem de uma célula para produção de combustível de hidrogênio, o mesmo apresentou bons resultados. Concluiu-se que existe a possibilidade de montar uma célula de hidrogênio acoplada a um painel solar conforme foi feito no presente estudo.

Após a realização da montagem da célula, a execução do experimento permitiu verificar a ocorrência do gás de hidrogênio proveniente do eletrolisador, chegando até às pilhas, realizando dessa forma, a conversão em energia elétrica.

A partir dos experimentos realizados, foi possível quantificar o combustível de hidrogênio que a célula produz, e isso demonstrou que a célula possui capacidade para produção de gás hidrogênio em diferentes tempos, indicando que o volume é diretamente proporcional ao tempo, uma vez que a mesma apresentou um total de 20 mL para o maior tempo de análise que foi 10 minutos.

A característica apresentada em cada capítulo, parte de uma visão panorâmica daquilo que é a produção de energia. A geração de hidrogênio a partir do método de eletrólise, impulsiona uma grande investigação para construção de mais equipamentos com a função de produzir o combustível de hidrogênio. A compreensão obtida por intermédio dos resultados do experimento, demonstra que essa tecnologia de obtenção não traz danos nenhum ao meio ambiente, ao contrário de outros métodos em que seus produtos são gases de efeito estufa que degradam o meio ambiente.

Várias foram as dificuldades ao longo da pesquisa. A principal foi a autorização da entrada nos laboratórios da UNILAB, foi preciso meses para que a situação pandêmica se ameniza, podendo assim dar continuidade ao trabalho.

Devido ao grande progresso do mundo científico, vale ressaltar que este trabalho aponta para novas possibilidades de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. T. DE et al. Uma Análise da Demanda por Combustíveis Através do Modelo Almost Ideal Demand System para Pernambuco. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 54, n. 4, p. 691–708, dez. 2016.

AZEVEDO, P. S.; PEREIRA, F. W. L.; PAIVA, S. A. R. **Água, Hidratação e Saúde**. Disponível em: <[http://sban.cloudpainel.com.br/source/Agua-HidrataAAo-e-SaAde\\_Nestle\\_.pdf](http://sban.cloudpainel.com.br/source/Agua-HidrataAAo-e-SaAde_Nestle_.pdf)>. Acesso em: 7 abr. 2021.

(BEN), B. E. N. **Empresa de Pesquisa Energética**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>>. Acesso em: 5 abr. 2020.

BACCI, D.; PATACA, E. Educação para a água Estudos Avançados. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 211–226, 2008.

BARRETO, E. J. F. **Combustão e gasificação de biomassa sólida**. Disponível em: <[https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Solucoes\\_Energeticas\\_para\\_a\\_Amazonia\\_Biomassa.pdf](https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Solucoes_Energeticas_para_a_Amazonia_Biomassa.pdf)>. Acesso em: 13 jan. 2021.

CAMARGO, J. C. **O etanol como fonte de hidrogênio para células a combustível na geração distribuída de energia elétrica**. [s.l.] Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP, 2004.

CARDOSO, L. C. B.; BITTENCOURT, M. V. L. Mensuração das elasticidades-preço da demanda, cruzada e renda no mercado de etanol brasileiro: um estudo usando painéis cointegrados. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, n. 4, p. 765-784., 2013.

CARVALHO, M. A. R. DE. **Preparação e caracterização de eletrodos de óxido níquel para eletrolisadores alcalinos de produção de hidrogênio**. [s.l.: s.n.].

CARVALHO, P. C. M. The Brazilian experience with a photovoltaic powered reverse osmosis plant. v. 12, p. 373–385, 2004.

CORPORATION, E. **PEM FUEL CELL TRAINER**. Disponível em: <<http://www.distek.ro/en/Product/Fuel-Cell-Trainer-ED-9740-4567?fbclid=IwAR0ikyK7IDynu2qOzQUMy7oeOXUVLfmHr--sPKjJJ6jxIY4rzMyAPPq5jig>>. Acesso em: 2 dez. 2020.

DALFOVO, M. S.; LANA, R. A.; SILVEIRA, A. Métodos quantitativos e qualitativos: um resgate teórico. **Revista interdisciplinar científica aplicada**, v. 2, p. 1–13, 2008.

DIEHL, A. A. **Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas**. São Paulo: [s.n.].

FADIGAS, E. A.; AMARAL, F. **Energia eólica**. 1a. ed. Barueri, SP: Manole, 2011.

FERNANDES, B. S. **Produção de hidrogênio em reator anaeróbio de leito fixo.** [s.l.] Universidade de São Paulo, 2008.

FILHO, J. S. D. S. **Caracterização de um eletrolisador bipolar para produção de hidrogênio visando o uso de painéis fotovoltaicos como fonte de energia.** [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG, 2008.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e Meio Ambiente. **Estudos Avançados USP 21 (59)**, v. 21, n. 59, p. 7–20, 2007.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos avançados**, v. 24, n. 68, p. 223–253, 2010.

LEITE, R. C. C.; LEAL, M. R. L. V. O biocombustível no Brasil. **Novos estudos CEBRAP**, v. 78, p. 15–21, 2007.

LIMA, A. A. et al. Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, p. 1–16, 2020.

LIMA, L. P. **Integração de pilhas de células a combustíveis com outras com outras fontes alternativas de energias.** [s.l.] Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

LINARDI, M. **Hidrogênio e Células a Combustível.** Disponível em: <[http://ecen.com/eee66/eee66p/eee66p5\\_2p.pdf](http://ecen.com/eee66/eee66p/eee66p5_2p.pdf)>. Acesso em: 8 fev. 2012.

LOPES, R. A. **Energia eólica.** 2a. ed. São Paulo: [s.n.].

LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J. Biocombustíveis. **Biocombustíveis**, v. 1–2, p. 1200, 2012.

MARCONI, M. DE A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa.** 5. ed. São Paulo: [s.n.].

MONTEIRO, A. D. **O Impacto das Energias Renováveis na Economia dos Países Emergentes: o caso de Cabo Verde.** [s.l.] Instituto Universitário de Lisboa, 2012.

NASCIMENTO, R. S.; ALVES, G. M. **Fontes alternativas e renováveis de energia no brasil: métodos e benefícios ambientais.** Disponível em: <[http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2016/anais/arquivos/0859\\_1146\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2016/anais/arquivos/0859_1146_01.pdf)>. Acesso em: 3 fev. 2021.

PAMPLONA, J. B.; CACCIAMALI, M. C. **O paradoxo da abundância: recursos naturais e desenvolvimento na América Latina.** Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/ea/v31n89/0103-4014-ea-31-89-0251.pdf>>. Acesso em: 5 abr. 2021.

PETROBRAS, P. B. S. A. **Biocombustíveis: 50 perguntas e respostas sobre este novo mercado.** Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/matprima1\\_000g7pccetcc02wx5](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/matprima1_000g7pccetcc02wx5)>

ok0wtedt32e6jis7.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2021.

PORCIÚNCULA, C. B. **Simulação e Operação de Célula a Combustível com Geração In Situ de Hidrogênio Através da Corrosão Alcalina do Alumínio.** [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

RAHMAN, S. **Energy consumption, energy savings, and emission analysis in Malaysian office buildings.** Disponível em: <[https://econpapers.repec.org/article/eeeeenepol/v\\_3a37\\_3ay\\_3a2009\\_3ai\\_3a10\\_3ap\\_3a4104-4113.htm](https://econpapers.repec.org/article/eeeeenepol/v_3a37_3ay_3a2009_3ai_3a10_3ap_3a4104-4113.htm)>. Acesso em: 8 fev. 2021.

RANDOW, B. M. V.; FONTES, R. M. O. CARMINATI, J. G. O. **Estimativas das elasticidades-preço e renda da demanda por álcool combustível no Brasil.** 48º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia Administração e Sociologia Rural. **Anais...** Campo Grande, MS: Tecnologias, Desenvolvimento e Integração Social., 2010

SABINO, L. R. F. **Inserção de energias renováveis complementares na matriz energética de Cabo Verde para o desenvolvimento do setor elétrico: estudo do caso da energia eólica.** [s.l.] Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira, 2016.

SANCHEZ, A. **Atividades Humanas e Mudanças Climático-Ambientais: Uma Relação Inevitável.** [s.l.] Universidade de São Paulo, 2009.

SANTOS, T. S. DOS et al. Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 595–602, dez. 2015.

SANTOS, F. A. C. M.; SANTOS, F. M. S. M. **Células de combustível.** Disponível em: <[https://repositorio.ipv.pt/bitstream/10400.19/589/1/Células de combustível.pdf](https://repositorio.ipv.pt/bitstream/10400.19/589/1/Células%20de%20combustível.pdf)>. Acesso em: 29 dez. 2020.

SANTOS, F. M. S. M. **CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL UMA TECNOLOGIA PARA A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.** [s.l.] UNIVERSIDADE DE COIMBRA, 2003.

SANTOS, G. F. Fuel demand in Brazil in a dynamic panel data approach. **Energy Economics**, v. 36, p. 229–240, 2013.

SILVEIRA, A. **Roteiro básico para apresentação e editoração de teses, dissertações e monografias.** 2. ed. Blumenau: [s.n.].

SINGH, A. S.; OLIVEIRA, E. DE J. **Tópicos em Administração – Volume 24.** [s.l.] 2019, 2019.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. Energia, meio ambiente e economia: o brasil no contexto mundial. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 757–767, 2009.

WILDNER, F. D. **Análise experimental da velocidade de combustão em motores de combustão interna.** [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.