

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**RHUAN FIGUEIRA NUNES
WESLEY LOUZADA ARAUJO**

**ESTUDO SOBRE A APLICAÇÃO DE GÁS HIDROGÊNIO EM
GERADORES DE ENERGIA ELÉTRICA**

**VOLTA REDONDA
2020**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ESTUDO SOBRE A APLICAÇÃO DE GÁS HIDROGÊNIO EM
GERADORES DE ENERGIA ELÉTRICA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica do UniFOA como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Alunos:

Rhuan Figueira Nunes

Wesley Louzada Araujo

Orientador:

Prof. Msc. Edson de Paula
Carvalho

Prof. Esp. Aloano Régio de
Almeida Pereira

**VOLTA REDONDA
2020**

FOLHA DE APROVAÇÃO

Alunos:

Rhuan Figueira Nunes 201310746
Wesley Louzada Araujo 201320815

Estudo sobre a aplicação de gás Hidrogênio em geradores de energia elétrica

Orientadores:

Prof. Msc. Edson de Paula Carvalho
Prof. Esp. Aloano Régio de Almeida Pereira

Banca Examinadora:

Prof. Msc. Edson de Paula Carvalho

Prof. Esp. Aloano Régio de Almeida Pereira

Prof. Esp. Bruno Moreira da Silva

DEDICATÓRIA

Dedica-se este trabalho a todos os nossos familiares e amigos que estiveram presentes durante toda esta etapa.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus, por ter nos abençoado com esta oportunidade e a nossa família, que nos apoiaram em todos os momentos.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar a geração de energia por combustão com gás Hidrogênio proveniente da eletrólise da água como combustível.

Devido à grande demanda de consumidores, foi discutido em elaborar um estudo sobre a aplicação de gás Hidrogênio em geradores de energia elétrica buscando uma sustentável fonte de geração de energia. O tema foi escolhido pela grande necessidade de se ter uma energia eficiente e cada vez menos agressiva ao meio ambiente, já que o processo escolhido é duplamente limpo, gerando apenas vapor de água em sua descarga como subproduto.

Para elaboração desta monografia, foram utilizados conhecimentos adquiridos durante nossa formação. Pesquisas foram feitas em fontes confiáveis citadas nesta monografia. Para análise foi levado em conta a manutenção, tempo de uso, viabilidade, aplicabilidade, impacto na sociedade e custo benefício. A energia está em toda parte, aplicar conhecimentos para que seja viável aproveitá-las tornando-as viáveis para todos, isso a engenharia nos possibilita realizar.

Palavras-chave: Geração, Hidrogênio, engenharia e viabilidade.

ABSTRACT

This project aimed to analyze the energy generation by combustion with hydrogen gas from the electrolysis and water as fuel.

Due to the great demand from consumers, it was decided to carry out a study on the application of hydrogen gas in electric power generators looking for a sustainable source of electric power generation. The theme was chosen due to the great need to have an efficient energy and less aggressive to the environment, since the chosen process is double clean, generating only water vapor in its discharge as a by-product.

To prepare this monograph, knowledge acquired during our training was used. Research was carried out on reliable sources cited in this monograph and for analysis, maintenance, time of use, feasibility, applicability, impact on society and cost benefit were taken into account. Energy is everywhere, it's up to us to apply knowledge so we can take advantage of them making them viable for everyone, and that engineering allows us to accomplish.

Keywords: Generation, Hydrogen, engineering, viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Geração de Energia no Brasil	15
Figura 2 – Sistema On-Grid.....	17
Figura 3 – Sistema Off-Grid.....	18
Figura 4 – Ciclo Diesel.....	20
Figura 5 – Ciclo otto.....	20
Figura 6 – Comparação Otto e Diesel.....	22
Figura 7 – Eletrólise.....	24
Figura 8 – Cilindros de Hidrogênio.....	25
Figura 9 – Diagrama do projeto.....	30
Figura 10 – Planta residencial.....	33
Figura 11 – Preço dos combustíveis nos postos.....	35
Figura 12 – Registro de consumo diário.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Poder Calorífico combustíveis usuais.....	19
Tabela 2 - Poder Calorífico combustíveis específicos.....	23
Tabela 3 - Levantamento de carga.....	34
Tabela 4 - Dados do gerador a Diesel.....	34
Tabela 5 - Dados do gerador a gás natural.....	34
Tabela 6 - Preço médio dos combustíveis por litro.....	35
Tabela 7 - Consumo dos geradores.....	36
Tabela 8 - Gerador de Hidrogênio.....	37
Tabela 9 - Custo da Solução Eletrolítica.....	38
Tabela 10 - Custo com combustíveis.....	39
Tabela 11 - Levantamento de custo do projeto.....	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Energia.....	11
1.2 Motivação para o estudo.....	11
2 OBJETIVO	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 Geração de energia elétrica.....	14
3.1.1 História	14
3.1.2 O processo	14
3.2 Geração de Energia Fotovoltaica.....	16
3.2.1 O processo	16
3.2.2 Sistema On-Grid	16
3.2.3 Sistema Off-Grid	17
3.3 Geração de Energia a Combustão.....	18
3.3.1 O processo	18
3.4 Geração de Hidrogênio.....	22
3.4.1 Hidrogênio.....	22
3.4.2 A Geração	23
3.4.3 Armazenamento de Hidrogênio.....	24
3.4.3.1 Armazenamento no Estado Gasoso	25
3.4.3.2 Armazenamento no Estado Líquido	26
4 METODOLOGIA.....	27
4.1 Fluxograma.....	27
5 ESTUDO DE CASO	29
5.1 O Projeto.....	29
5.2 Manutenção	30
5.2.1 Manutenção Preventiva	31
5.2.2 Manutenção Corretiva	31
5.3 Segurança.....	31
5.4 Normas	32
5.5 Viabilidade Econômica.....	33
6 CONCLUSÃO.....	41
7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	42

1 INTRODUÇÃO

1.1 Energia

Energia é uma concepção subjetiva e mesmo existindo no cotidiano de toda a humanidade ainda é encarada de forma complexa e difícil de se definir. É definida como uma grandeza física que pode ser encontrada em qualquer coisa que esteja trabalhando, se movendo ou aquecendo.

A conversão de uma forma de energia em outra é uma necessidade básica da humanidade e da natureza. Constantemente o corpo humano está consumindo energia dos alimentos e possibilitando movimento ao corpo, as plantas quando realizam a fotossíntese também são exemplos puros da necessidade vital da natureza em converter formas de energia para manutenção da vida. A economia de países também é fundamentada em obtenção de energia, afinal a produção industrial e até o padrão de vida de cada nação está diretamente relacionado com a quantidade per capita de energia consumida (Goldberg, 1998).

Após cada dia a demanda de energia elétrica no mundo aumenta, e com isso aumentam a quantidade de poluentes emitidos na atmosfera. Grande parte do gás Carbônico e Nitrogênio encontrados na atmosfera são oriundos da queima de combustíveis fósseis e especialistas indicam como o principal responsável por aumentar o efeito estufa na atmosfera.

1.2 Motivação para o estudo

Tendo em vista as hipóteses do enfraquecimento das reservas petrolíferas mundiais, as consequências ambientais do uso de combustível fóssil como matriz energética e a crescente procura por energia, buscar uma demanda alternativa de energia tornou-se uma decisão inadiável para os governos do mundo inteiro. Dentre elas a energia eólica, Biomassa e energia solar.

A energia eólica é muito eficiente na questão ambiental, porém ao analisar a efetiva conversão de energia do vento em elétrica, ainda há um grande potencial a ser explorado, e a capacidade instalada deve crescer 35% até 2024 (VEJA, 2020).

A Biomassa tem grandes benefícios sobre os combustíveis fósseis por poder aproveitar material que seria descartado e muitas vezes poluentes como fezes de

animais, na produção de energia. Porém, trata-se basicamente da queima direta do material, ou dos gases provenientes dele em processos orgânicos. Dessa forma emissões de poluentes continuam a ser um problema. O Biodiesel também apresenta suas limitações para ser considerado como solução energética, por ter como origem óleos vegetais, elevação nos preços de alimentos podem ocorrer quando essa produção for destinada para a fabricação de combustíveis (Santos et al., 2008).

A energia solar é bastante disponível, limpa e com baixo custo operacional, mas ainda depende de elevados custos de instalação, porém com alguns anos de uso considerando um sistema de armazenamento da energia produzida durante o dia para uso noturno, este investimento acaba sendo lucrativo.

Muito se tem discutido sobre o Hidrogênio como fonte alternativa de energia. O Hidrogênio (H_2) um elemento com muita abundância e de grande potencial energético devido seu aspecto extremamente inflamável relacionado à baixa energia de ignição e propagação.

Para o desenvolvimento de grandes nações os principais pilares são: a energia e a educação, devido a estes pontos, a necessidade de energia e a diminuição da agressão ao planeta. Foi então elaborado este estudo sobre a aplicação de gás Hidrogênio em geradores de energia elétrica que tem como seu subproduto o vapor d'água, se caracterizando como não agressiva ao meio ambiente. Com o avanço da tecnologia, pode-se ter outras fontes de geração de energia no mercado com a intenção de auxiliar na geração diminuindo a atuação de outras fontes não renováveis na demanda diária.

Para que fosse elaborado este estudo foi necessário buscar fontes seguras com informações verdadeiras e lógicas. A pesquisa foi feita com a intenção de chegar à conclusão real da aplicação do estudo.

Neste estudo foram utilizadas técnicas para que a comparação entre gerações já existentes e usuais fosse feita para que se obtenha uma análise econômica e ambiental entre elas com objetivo de balancear qualidade de vida com equilíbrio financeiro.

2 OBJETIVO

Este estudo visa avaliar a viabilidade da aplicação do gás Hidrogênio (H_2) como combustível em geradores de energia elétrica a combustão, partindo do princípio que o Hidrogênio será gerado através de uma eletrólise garantindo a melhor proposta de rendimento e confiabilidade do gerador.

Para futuros pesquisadores, este trabalho se coloca como material de pesquisa ou ponto de partida para desenvolver estudos voltados para a produção de Hidrogênio e os efeitos do combustível em motores a combustão.

Este trabalho tem uma possibilidade para contornar o problema do uso de combustíveis fósseis e o uso de baterias, e ainda assim se beneficiar do uso de Hidrogênio como substituto para os combustíveis fósseis.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Geração de energia elétrica

3.1.1 História

O mundo sempre necessitará de tecnologia e desenvolvimento pois a sociedade está em evolução continuamente, foi então que em 1880 o inventor americano Thomas Alva Edison (fevereiro 11, 1847 – outubro 18, 1931), foi o responsável pela criação do primeiro gerador de energia elétrica em corrente contínua, que utilizava carvão como combustível e possuía um peso de 27 toneladas além de uma capacidade para produzir 100 kW.

Já em 1882 foi criada a primeira usina geradora chamada de Pearl Street atendendo cerca de 500 consumidores.

Com o passar dos anos foram necessárias outras formas de geração, como a forma de geração criada por Thomas Alva Edison que era inviável e obsoleta, pois necessitava de uma grande demanda de carvão na sua geração e não atendia o crescimento da sociedade, foi então criada a primeira hidrelétrica já no final do século XIX nas Cataratas do Niágara no qual se transformava energia mecânica em energia elétrica através de turbinas movimentadas pela vazão d'água com capacidade de 0,5 MW.

3.1.2 O processo

Para se gerar energia elétrica atualmente se tem diversos tipos de opções como fonte primária entre elas:

- Geração eólica;
- Geração hidráulica;
- Geração térmica;
- Geração nuclear;
- Geração solar.

O gráfico da Figura 1 ilustra a geração média gerada em um dia:

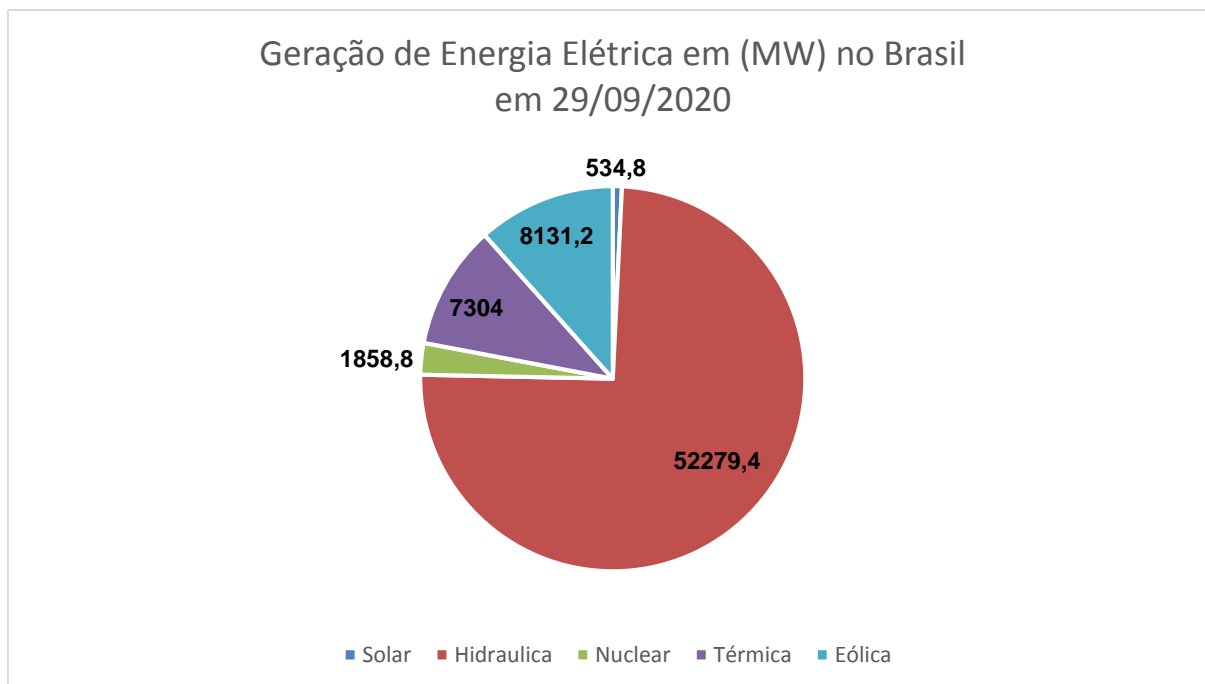


Figura 1 – Geração de Energia no Brasil

Fonte: Autores (2020)

A geração de energia elétrica em função da energia térmica dentre elas: o gás natural, petróleo, carvão, Biomassa, Geotérmica e biogás. O processo acontece da seguinte forma, um duto com o combustível abastece a caldeira que irá aquecer água gerando vapor e dióxido de carbono como subproduto, o vapor é guiado por um duto até girar uma turbina acoplada a um gerador de energia elétrica, sendo direcionada para um transformador que irá fazer a elevação da tensão para que possa ser feita a transmissão para a subestação, já o excesso de vapor como subproduto é passado por um condensador no qual irá trocar calor e transformar o vapor em água novamente, sendo devolvido para os rios.

Neste tipo de geração, a queima de combustíveis fósseis causa um impacto ambiental negativo, considerando que a emissão de dióxido de carbono (CO_2) é um potencial poluente emitido diariamente na atmosfera.

Nesta monografia será utilizado o Hidrogênio (H_2) como combustível para o funcionamento de geradores de energia elétrica, também através da eletroquímica será realizado a eletrólise da água, separando o hidrogênio do oxigênio.

3.2 Geração de Energia Fotovoltaica

3.2.1 O processo

A energia solar é proveniente do calor e da luz solar podendo ser aproveitada por tecnologias que a transformam em energia elétrica ou energia térmica associada ao aquecimento de água para uso doméstico e aquecimento ou refrigeração de ambientes. Dos inúmeros processos de transformação será dado ênfase no sistema residencial.

Os painéis solares são instalados geralmente em lugares abertos ou altos para que possam ter melhor contato com os raios solares, essas placas fotovoltaicas são feitas de silício, que é um material semicondutor, e quando entra em contato com a radiação solar os elétrons presentes na placa absorvem os átomos de energia e os transformam em elétrons livres, então o material semicondutor transporta os elétrons livres para que eles sejam puxados para um campo elétrico e neste campo os elétrons serão levados para fora deste painel solar e poderão ser utilizados na forma de energia elétrica.

Esta energia elétrica gerada através do painel solar é direcionada para um inversor que transforma a energia de corrente contínua em energia de corrente alternada para que possa ser utilizada na residência.

Em dias chuvosos e nublados também pode haver a geração de energia solar, porém em intensidade menor, e durante a noite não há geração, entretanto se utilizar um sistema fotovoltaico configurado diretamente à rede elétrica (sistema On-Grid) o consumidor poderá utilizar normalmente no período noturno.

3.2.2 Sistema On-Grid

O sistema On-Grid mostrado na Figura 2 é um sistema capaz de transformar energia solar em energia elétrica e entregá-la à rede elétrica de energia através de um conjunto de equipamentos, pode-se dizer que basicamente torna o sistema On-Grid é a sua capacidade de exportar energia para rede, ou seja, quando se excede a produção de energia elétrica no local, o excedente é entregue para a concessionária como forma de crédito, tornando assim o consumidor comum em um prosumidor.

As vantagens de se optar por um sistema On-Grid é a de que ele dispensa

o uso do banco de baterias e isso torna sua vida útil maior, os custos para implementação do sistema On-Grid é menor que o sistema Off-Grid, pois isso o torna cada vez mais viável para um financiamento da população porém o sistema não é perfeito e existe algumas desvantagens nele.

Por conta de o sistema On-Grid não utilizar o banco de baterias isso o torna uma desvantagem em relação ao sistema Off-Grid, pois numa eventual queda energia o sistema On-Grid por ser ligado diretamente à rede de energia elétrica o imóvel ficará com falta de luz. Já existe um sistema fotovoltaico híbrido que mescla o sistema Off-Grid com o On-Grid, porém existem particularidades como a de ter que fazer a separação de equipamentos elétricos que tem necessidade de se manter em funcionamento mesmo depois do apagão.



Figura 2 – Sistema On-Grid

Fonte: Infinity sun (2017)

3.2.3 Sistema Off-Grid

O sistema Off-Grid é um sistema conectado fora da rede, pois se trata de um sistema autônomo que somente utiliza a produção das placas fotovoltaicas e isso o torna mais utilizado em áreas longe dos centros urbanos e em áreas rurais.

Por ser um sistema independente toda energia excedente gerada é armazenada em baterias tracionarias que garantem o funcionamento mesmo em períodos em que dispensa luz solar.

As principais vantagens de utilizar um sistema Off-Grid, é que diferente do sistema On-Grid, a energia é armazenada em seu banco de baterias sendo possível utiliza-la durante a noite ou durante uma eventual queda da alimentação da concessionaria. E também pode ser instalado onde não há alcance da rede elétrica de energia, entretanto há algumas ressalvas a se fazer, sendo que ele apresenta menor eficiência energética e um custo mais elevado em comparação ao sistema On-Grid e as baterias utilizam placas de lítio que são prejudiciais ao meio ambiente.

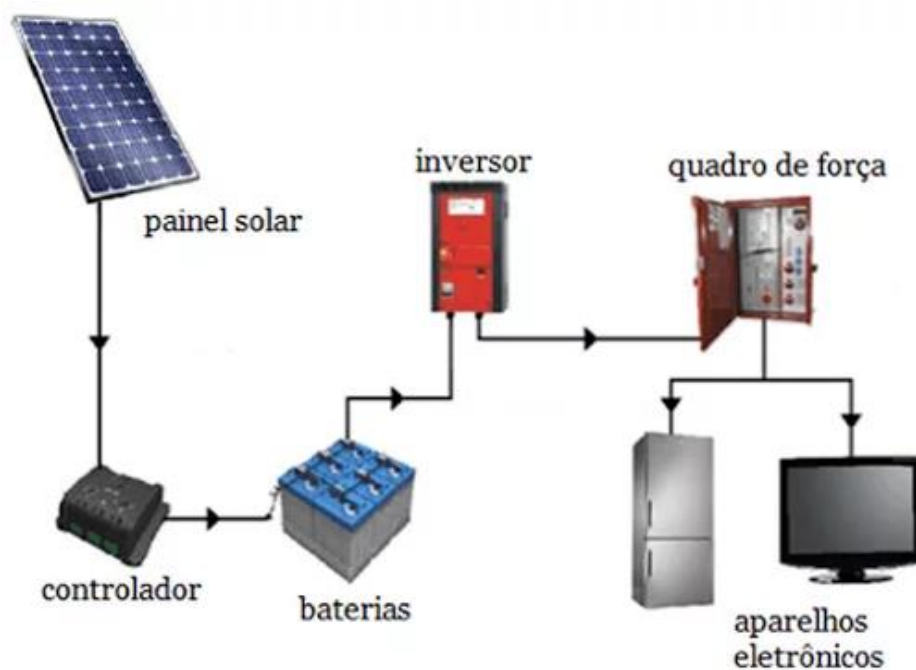


Figura 3 – Sistema Off-Grid

Fonte: Reluze (2020)

3.3 Geração de Energia a Combustão

3.3.1 O processo

A combustão é uma ação essencial para o funcionamento de máquinas térmicas. Para que haja essa combustão são necessários alguns fatores como a

reação de um combustível a um comburente em uma determinada temperatura. Os combustíveis dos geradores a combustão são geralmente óleo diesel e gasolina. A Tabela 1 mostra o poder calorífico de alguns combustíveis usuais.

Combustível	Poder Calorífico
Álcool	27.169 kJ/kg
Gasolina	45.978 kJ/kg
Diesel	43.888 kJ/kg
Metano	55.434 kJ/kg

Tabela 1 – Poder Calorífico combustíveis usuais

Fonte: Autores (2020)

Os combustíveis mais usuais são o diesel e a gasolina, pode-se perceber que possuem o poder calorífico bem parecido, porém em termos de massa o diesel é bem mais pesado do que a gasolina, e por isso armazena cerca de 15% a mais de energia por volume (ROYALFIC,2019).

Na geração de energia a combustão, a energia mecânica é convertida em elétrica. Nos geradores a diesel é puxado o ar de dentro do gerador até que seja comprimido elevando a pressão e a temperatura, para que seja feita a injeção de diesel em seguida. O processo de combustão, gera uma explosão dando movimento ao cilindro colocando o moto gerador em funcionamento. A partir desse processo a energia é transformada para que possa ser distribuída.

Após o motor de arranque dar o primeiro movimento ao motor girando o virabrequim, dentro do cilindro a etapa de admissão se inicia, a válvula de admissão é aberta permitindo que com o movimento da biela seja possível que o pistão aspire ar, a compressão ocorre quando a válvula de admissão se fecha e o ar é comprimido a alta pressão fazendo com que atinja altas temperaturas, combustão ocorre quando o pistão está em sua posição máxima de compressão e a bomba injetora pulveriza óleo diesel sob alta pressão através do bico injetor no interior da câmara de combustão a alta temperatura faz com que ocorra a explosão elevando a pressão da câmara empurrando o pistão, a válvula de exaustão é aberta para que os gases gerados durante a explosão sejam expulsos da câmara de combustão para que o processo ocorra novamente, gerando movimento ao motor.

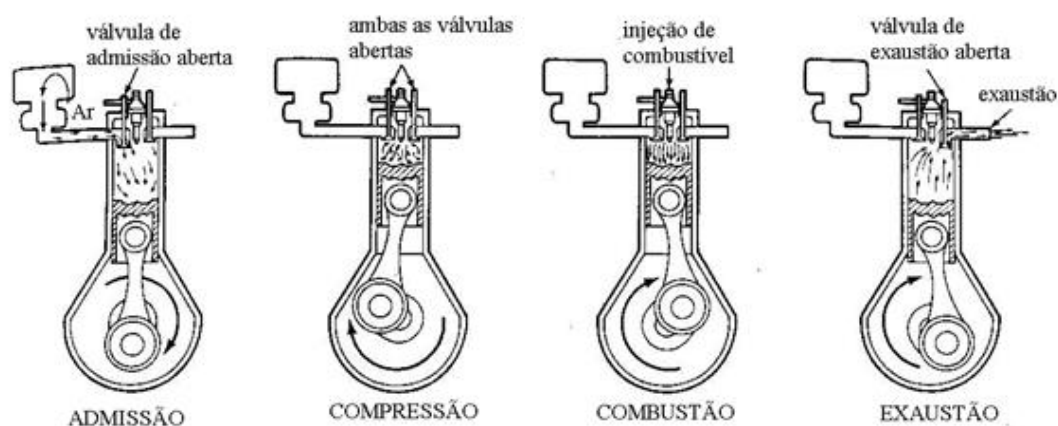


Figura 4 – Ciclo Diesel

Fonte: Alugagera (2017)

É importante ressaltar que nos motores a diesel não é necessária uma fonte de faísca, porque a explosão do combustível é realizada por pressão e temperatura.

Já existe substituto para os geradores diesel, com o aumento do preço do petróleo foram feitas pesquisas para buscar combustíveis alternativos e até então foi encontrado o biogás para ser o combustível substituto, e o princípio do funcionamento dos geradores utilizando o gás como combustível é o ciclo otto.

O processo do ciclo otto é bem parecido ao ciclo diesel, também se divide em 4 etapas: admissão, compressão, explosão e exaustão, porém necessita de uma fonte de ignição para gerar a explosão na câmara de combustão. Conforme pode ser observado na figura 3.

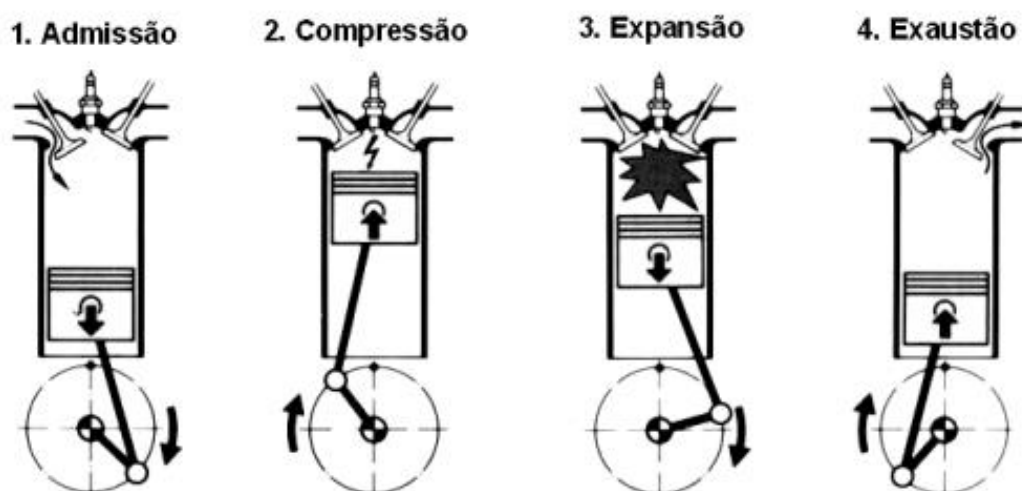


Figura 5 – Ciclo otto

Fonte: BOSCH (1988)

Pode se observar a primeira etapa do ciclo otto chamada de admissão. Nesta etapa a válvula de admissão fica aberta enquanto a válvula de exaustão permanece fechada, então o pistão se move para baixo a fim de aumentar o volume dentro do cilindro de combustível e dentro dessa câmara ocorre a mistura do combustível com o ar que havia entrado, sendo que essa mistura é feita totalmente sob pressão, ou seja, na fase de admissão ocorre uma transformação isobárica.

Pode-se ver o tempo de compressão, esta é a etapa que sucede a admissão, a válvula de entrada se fecha e a de saída continua fechada, o pistão inicia seu processo de compressão gerando um aumento de pressão dentro do cilindro e comprimindo a mistura feita entre ar e combustível e diminuindo seu volume. Neste processo ocorre uma transformação adiabática.

Pode-se observar a etapa de compressão do processo, nessa etapa ambas as válvulas continuam fechadas, enquanto o pistão sobe rapidamente a vela solta uma centelha ocasionando uma combustão, por meio deste processo é gerada uma grande quantidade de energia térmica, a expansão automaticamente ocorre como resultado dessa explosão, o pistão é orientado a se movimentar para baixo aliviando a pressão na câmara.

A exaustão é a última etapa do ciclo, após o pistão descer e chegar na posição inicial onde a câmara do cilindro tem maior volume, a válvula de admissão continua fechada e a válvula de saída é aberta para que seja feito o arrefecimento do sistema, o pistão torna a subir novamente para que seja realizada a retirada dos gases quentes (menos densos) que estavam na câmara e assim possa ocorrer novamente todo o ciclo. Pode-se ver na figura 4 a comparação de pressão por volume dos modelos.

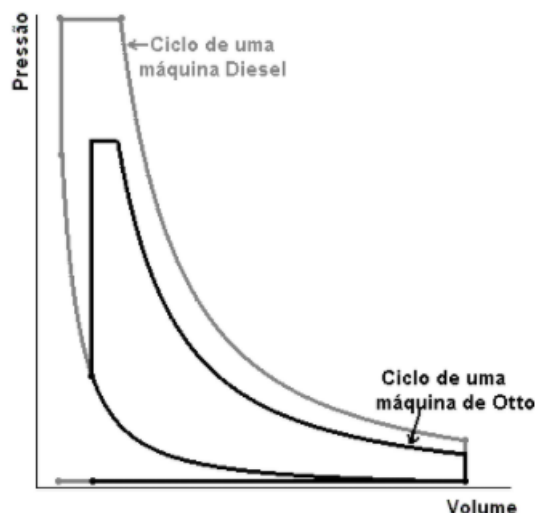


Figura 6 – Comparação Otto e Diesel
Fonte: UFRGS (2020)

3.4 Geração de Hidrogênio

3.4.1 Hidrogênio

O Hidrogênio está presente em toda parte. Está incluso em 93% das moléculas que existem, entre elas, a água e as proteínas que são essenciais para que o ser humano sobreviva. Em condições ambientais (temperatura a 25°C e pressão a 1 atm.), este pode ser identificado como um gás inodoro, insípido e incolor, além de ser um gás inflamável, insolúvel em água e com alto poder de difusão por dispor uma densidade inferior ao ar (ESTEVÃO, 2008). Existem muitas características que indicam o Hidrogênio como combustível, dentre elas, o poder calorífico que está relacionado a quantidade de energia que um combustível libera durante a queima. O poder calorífico do Hidrogênio sobressai ao ser comparado a outros combustíveis que comumente são aplicados nos motores a combustão (ESTEVÃO, 2008).

O elemento Hidrogênio possui massa atômica de 1,00784 u e configuração eletrônica $1s^1$. Quando em forma de gás, o Hidrogênio é extremamente inflamável apresentando uma chama praticamente invisível. Sua temperatura de autoignição é de 566°C (1051°F). Pode-se verificar o poder calorífico dos gases utilizados para combustão na Tabela 2.

Combustível	Poder Calorífico
Hidrogênio	141.838 kJ/kg
GNV	40.166 kJ/kg
Biogás	33.195 kJ/kg

Tabela 2 – Poder Calorífico combustíveis específicos

Fonte: Autores (2020)

No GNV o Metano é constituído predominantemente em torno de 88%, já no biogás sua concentração varia de 50% a 70%.

O gás Hidrogênio possui o poder calorífico de 141.837,6 kJ/kg e o Metano (CH₄), popularmente utilizado no GNV em cerca de 88% de sua composição possui 52.693,296 kJ/kg, ou seja, o gás hidrogênio (H₂), possui o poder calorífico cerca de 2,7 vezes a mais do que o Metano (CH₄), e ainda não possui Carbono (C) em sua composição, dispensando a emissão de dióxido de carbono como subproduto em sua descarga após a combustão.

3.4.2 A Geração

Na forma molecular o Hidrogênio (H₂) pode ser produzido a partir de eletrólise da água, gaseificação do carvão e também por vários métodos, como a decomposição termoquímica da água e a foto eletrólise solar, porém estas tecnologias ainda seguem em desenvolvimento (Saravanan e Nagarajan, 2008).

Como citado acima a forma de gerar o gás a partir da eletrólise da água utiliza-se energia elétrica no sentido de dividir a molécula de água em Oxigênio e Hidrogênio. A solução eletrolítica mais usada na água para realizar o processo de eletrolise no momento é o hidróxido de potássio (KOH) e ou soda caustica (NaOH), garantindo eficiência na produção com baixo custo.

O procedimento mais conhecido comercialmente é a de eletrólise alcalina. Este tipo de processo é apropriado para largas produções de Hidrogênio. Para que ocorra a eletrólise terá que ser aplicado no mínimo 1,23 volts com uma determinada corrente em um pequeno volume de água, como ilustra a figura 7.

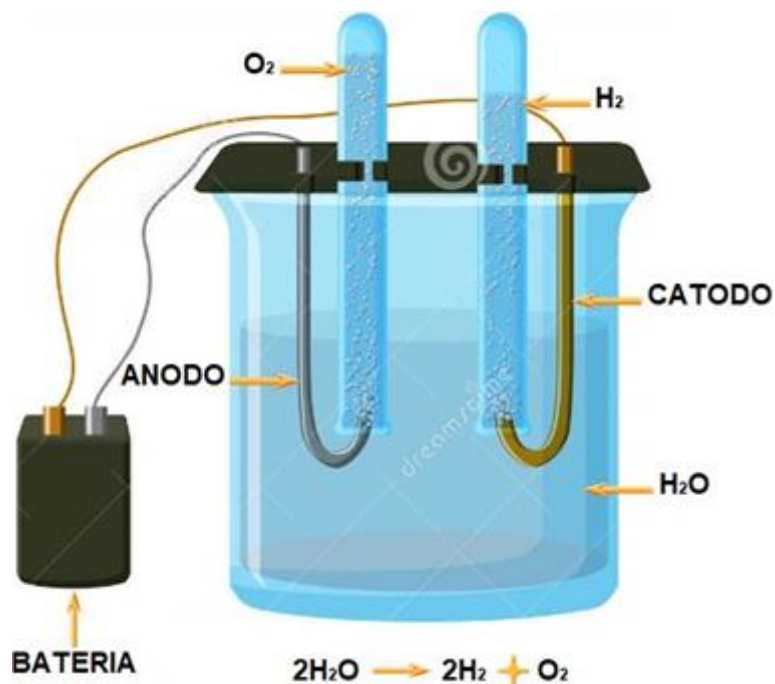


Figura 7 – Eletrólise

Fonte: dreamstime (adaptado)

Vale ressaltar que a tensão aplicada deverá ser contínua, pois há possibilidade de polarizar os eletrodos tornando possível direcionar a geração de Hidrogênio a fim de armazenamento pelo catodo. Em corrente alternada a produção de O_2 e H_2 oscilaria entre o catodo e anodo.

Em uma eventual necessidade de aumento na produção de Hidrogênio, pode ser feito um aumento tanto na corrente quanto na tensão, ou seja, um aumento na potência do gerador, porém alguns pontos devem ser levados em consideração, caso o circuito tenha uma resistividade alta não adiantará elevar a potência, pois a resistência irá determinar o limite de saturação do gerador. Isto significa que mesmo aplicando determinados valores de tensão acima deste limite de saturação não irá influenciar em sua produção.

3.4.3 Armazenamento de Hidrogênio

A forma como é realizado a conservação do Hidrogênio leva em consideração pontos como custo e a facilidade na fabricação. No intuito de utilizar o Hidrogênio armazenado em automóveis, postos de gasolina e unidades estacionárias de energia foram criadas algumas possibilidades de armazenamento.

Dentre estas, pode-se mencionar duas formas de armazenamento mais úteis:

- Armazenamento do Hidrogênio na forma de gás comprimido;
- Armazenamento de Hidrogênio líquido na forma criogênica;

3.4.3.1 Armazenamento no Estado Gasoso

O meio de armazenamento permite que o Hidrogênio no estado gasoso seja submetido a grandes pressões (200 ~ 600 bar) de modo que esteja comprimido, obtendo uma densidade maior do que aquela medida em 25°C e 1 atm. de pressão (temperatura e pressão em condição ambiente) (SANTOS et al., 2001).

Este método é utilizado quando deseja estocar poucas quantidades de hidrogênio e onde o espaço não é um fator restritivo, por exemplo, em veículos que utilizam células a combustível ou motores a combustão interna, residências, estabelecimentos comerciais e industriais (SANTOS et al, 2001). Quando deseja uma maior fração do gás, o mesmo é estocado em cavernas, minas ou em encanamentos que já são usados para estocar gás natural (ESTEVÃO, 2008).

É uma técnica que se mostra vantajosa pois trata-se de um método de conservação simples com 5% de perdas energéticas através da compressão e inexistência das mesmas quando o gás já se encontra de maneira comprimida (SANTOS et al., 2001). Entretanto, o custo deste procedimento é alto em razão das propriedades do hidrogênio como alto poder de difusão e sua baixa consistência o que leva a criar ou aperfeiçoar tecnologias que já existem para seu armazenamento.



Figura 8 – Cilindros de hidrogênio

Fonte: depositphotos (2020)

3.4.3.2 Armazenamento no Estado Líquido

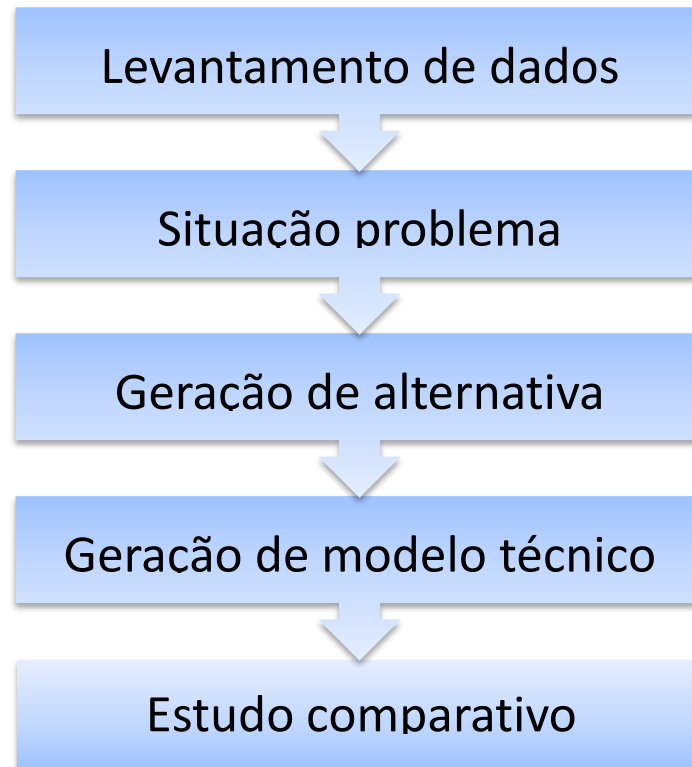
Neste tipo de armazenamento o Hidrogênio é submetido a um regime de condensação devido a uma forte queda da temperatura consumindo 40% da energia contida no combustível. Isso acontece, pois, a temperatura de ebulição do hidrogênio é baixa, cerca de $-252,9^{\circ}\text{C}$, o que gera um prejuízo contando com a quantia de energia usada para armazenar o Hidrogênio na forma de gás comprimido. Em compensação, com este método é possível estocar um maior volume de Hidrogênio e denota maior viabilidade em relação ao transporte do combustível.

O Hidrogênio na forma líquida exibe maior densidade e apresenta menores perigos quando comparado ao Hidrogênio comprimido pois em caso de fuga, o Hidrogênio na forma líquida terá que sofrer um aquecimento antes de entrar em processo de evaporação e ser liberado para atmosfera.

O armazenamento do Hidrogênio líquido é aplicado em veículos, aeronaves e foguetes pois são sistemas que não dispõem muito espaço livre e há uma grande necessidade de armazenar grandes quantidades de energia. Essa forma de armazenamento também está agregada a tecnologia das células de combustível (SANTOS et al., 2001).

4 METODOLOGIA

4.1 Fluxograma



- **Levantamento de dados**

Assim que foi decidido realizar o estudo sobre o tema em questão, foi realizado um levantamento sobre possíveis materiais para pesquisas acerca de geração de energia. Foi buscado compreender e dominar a melhor forma possível o assunto.

- **Situação problema**

Durante a pesquisa, foi especulado como seria a forma de manutenção. Como trata-se de um gerador a combustão, o sistema sofre perdas mecânicas como desgastes de engrenagens e bloco do motor ocasionando perda no rendimento do sistema, que pode ser controlado com uma manutenção corretiva

na substituição da peça defeituosa. O cilindro de armazenamento de Hidrogênio periodicamente deve-se passar por teste de estanqueidade para evitar um vazamento de gás hidrogênio, já as placas solares irão sujar com o passar do tempo, diminuindo sua eficiência e impactando negativamente no gerador de Hidrogênio.

- **Geração de alternativa**

A fim de solucionar o problema, foi decidido que todo sistema de geração será lacrado em uma cabine de alvenaria revestida através de um isolamento acústico do tipo casca de ovo e a manutenção será periódica.

- **Geração de modelo técnico**

Foi utilizado o conceito de uma geração de energia elétrica através de um gerador a gás Hidrogênio. Sendo feita a comparação entre essa geração limpa e outras gerações com combustível fóssil já existentes.

- **Estudo comparativo**

Logo após a realização dos estudos sobre gerações e a viabilidade econômica do projeto que será citada em seguida, optou-se por comparar tanto os efeitos que a geração causará quanto ao custo que as diferentes formas de geração custarão.

5 ESTUDO DE CASO

5.1 O Projeto

Com objetivo de melhorar a sustentabilidade do planeta e atender a demanda energética, foi feita uma pesquisa que possa atender ao problema sem prejudicar o meio ambiente.

Armazenar energia ainda é uma dificuldade para muitos pesquisadores. Com objetivo de encontrar uma solução sustentável e viável, a ideia foi a de armazenar gás Hidrogênio através da eletrólise da água, para que posteriormente seja utilizado como combustível em geradores de energia elétrica, dispensando a utilização de baterias no armazenamento de energia elétrica.

A ideia é que através de placas solares configurado no sistema On-Grid durante o dia seja possível atender o gerador de Hidrogênio (H_2) para que durante a noite este combustível abasteça o gerador de energia a combustão reduzindo o consumo da concessionaria em horário de pico.

O Hidrogênio gerado é transportado através de uma mangueira para gás que é composta por um tubo interno em PVC flexível, reforçada com uma camada de fios de poliéster e cobertura de PVC flexível até a primeira válvula reguladora de pressão. Então é conectada a válvula de retenção com o objetivo de não retornar gás para o gerador. A saída desta válvula é conectada a parte de sucção do compressor, que é responsável por comprimir o gás. A tubulação de descarga do compressor é conectada a uma conexão tipo T e o gás é encaminhado ao cilindro. Após o cilindro obter sua carga máxima, é enviado um comando para que o gerador de Hidrogênio fique fora de operação.

Uma saída da conexão tipo T é conectada a outra válvula reguladora de pressão que é ligada a válvula corta-chamas. Concluindo o fornecimento de combustível ao gerador.

Quando o sistema está com a carga máxima de Hidrogênio (H_2), o gerador de Hidrogênio fica fora de operação. Então o sistema fotovoltaico atende à unidade consumidora e a rede de distribuição. Este processo é muito importante para aumentar significativamente o rendimento do projeto elaborado.

O gerador a combustão propulsionado com gás Hidrogênio é duplamente limpo, pois não utiliza combustível fóssil e como subproduto em sua descarga não

está presente a emissão de dióxido de carbono (CO₂), pois não há presença de Carbono em seu processo de queima, apenas vapor d'água é emitido para a atmosfera em sua descarga.

Como se trata de fluido sob pressão e inflamável, somente profissionais qualificados são autorizados a efetuar qualquer tipo de manutenção ou intervenção no equipamento, garantindo a segurança e o funcionamento do projeto. A única responsabilidade do usuário é a de completar o nível de água e eletrólito no reservatório do gerador de Hidrogênio e solicitar as manutenções periódicas dos equipamentos. A figura 9 ilustra o diagrama do projeto elaborado.

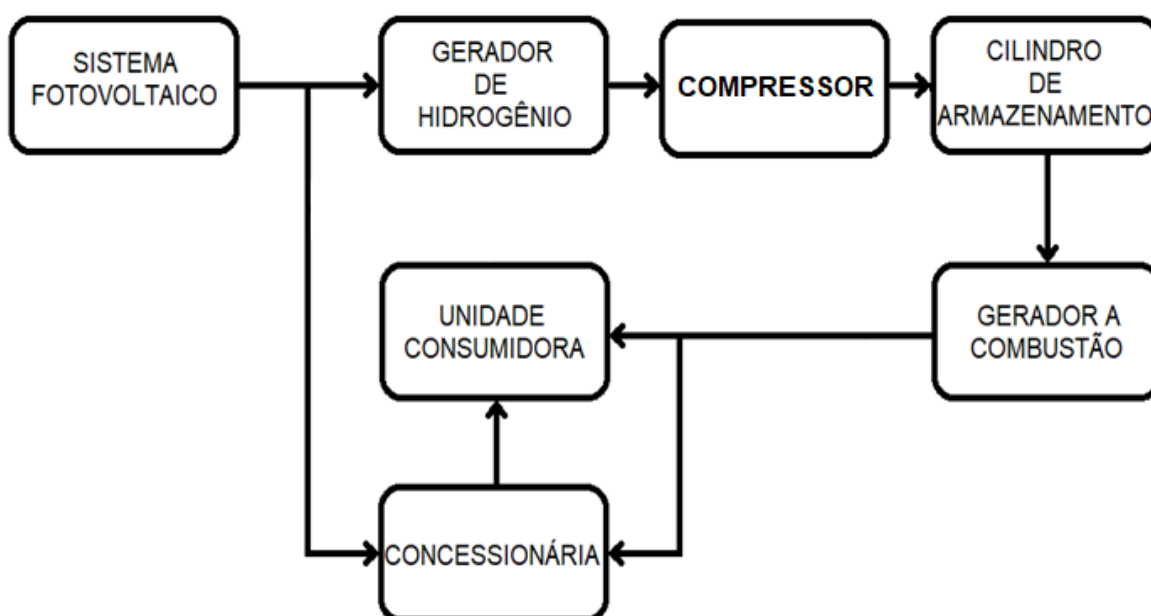


Figura 9 – Diagrama do projeto

Fonte: Autores (2020)

5.2 Manutenção

Um planejamento de manutenção eficiente é essencial como melhor forma de manter este sistema funcionando perfeitamente. Dois tipos de manutenção foram aplicados neste projeto, a manutenção preventiva e a manutenção corretiva que devem ser realizadas por profissionais habilitados.

5.2.1 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é um método aplicado para que as paradas inesperadas por defeitos no projeto sejam minimizadas. O plano de manutenção nas placas solares é a de efetuar a limpeza para que não perca rendimento, já no gerador de Hidrogênio, deve ser feita a verificação se há oxidação dos eletrodos e se há vestígios de vazamentos de água e gás e no gerador de energia a combustão deve ser verificado o nível de óleo do gerador, a troca de óleo deve ser obedecida referente a quilometragem rodada do gerador. O reaperto das conexões elétricas deve ser feita periodicamente evitando o superaquecimento e sobrecarga do sistema.

5.2.2 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é feita quando seu sistema está inoperante e necessita da substituição de um componente. Pode ocorrer uma queima inesperada do inversor de frequência do sistema fotovoltaico, vazamento de gás no gerador de Hidrogênio e nos cilindros de armazenamento, defeitos mecânicos no gerador como quebra de biela, superaquecimento do bloco do motor, vazamento de óleo, são defeitos que ocasionarão a parada do sistema de geração.

5.3 Segurança

Para que o sistema seja seguro foi pensado em maneiras de proteger o projeto e terceiros, como o isolamento do cilindro de Hidrogênio, detectores de vazamento de Hidrogênio que através de solenoides acionarão a emergência do sistema até que seja revisado, válvulas reguladoras de pressão são aplicadas para que se tenha confiabilidade na aplicação da pressão correta de combustível no gerador de energia. Como o gás Hidrogênio é bem leve, possui densidade 14 vezes menor do que a do ar, num possível vazamento ele subirá rapidamente, só que como o sistema é lacrado, por um duto de cobre com uma válvula corta-chamas pode-se queimá-lo com segurança tornando o sistema controlado e confiável. Pressostatos e sensores de temperatura estão presentes no bloco do motor e na linha de gás ligados no sistema de proteção do projeto para que as grandezas não

saem do especificado podendo causar uma anomalia no sistema.

5.4 Normas

ABNT NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Estabelece as condições para instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens. Aplica-se aos circuitos elétricos, a toda fiação e as linhas elétricas fixas de sinal alimentados sob tensão nominal igual ou inferior a 1000V em corrente alternada, com frequências inferiores a 400 Hz, ou a 1500V em corrente contínua.

ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas. Essa norma estabelece que qualquer tipo de instalação fotovoltaica é considerado instalação elétrica, portanto necessita abranger partes que visam a proteção contra surtos de tensão na rede. Portanto, a ABNT NBR 5419 servirá como manual de instrução para as questões entre o sistema fotovoltaico e o SPDA.

ABNT NBR 16274:2014: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Existem três focos: estabelecer toda documentação (especificar laudo técnico) após a instalação do sistema conectado à rede, estabelecer os requisitos para a inspeção e abordar as técnicas que deverão ser seguidas após a finalização da montagem. Essa norma serve como garantia da qualidade do sistema fotovoltaico.

NR 10: Segurança em instalações e serviços em eletricidade. Esta norma do ministério do trabalho tem como intenção melhorar a segurança das instalações elétricas e serviços com eletricidade. Então os profissionais que efetuam as instalações, comissionamento devem atender aos requisitos indicados.

NBR ISO 9809-1: Essa ABNT especifica quais os requisitos mínimos para os materiais, projeto, acabamentos, fabricação, inspeção em cilindros de aço temperados, revenidos e sem costura para gases comprimidos, liquefeitos e dissolvidos com capacidade de 0,5L até 150L.

NBR 11.725: Conexões e Roscas para Válvulas de cilindros para Gases Comprimidos. Esta Norma existe a fim de padronizar as dimensões implementadas nos formatos e bocais de cilindros usados para armazenar gases comprimidos, liquefeitos ou dissolvidos sob pressão.

5.5 Viabilidade Econômica

A unidade consumidora ilustrada (fig. 7) será utilizada como padrão de carga para os cálculos.



Figura 10 – Planta residencial

Fonte: decorfacil (2020)

A aplicação da viabilidade será feita em diferentes processos de geração a combustão (geração com combustíveis fósseis e com gás Hidrogênio) a fins comparativos.

Como o gerador a Hidrogênio não é popular, foi feita a comparação levando em conta seu poder calorífico a fim de chegar no resultado mais próximo ao real.

As cargas desta residência estão listadas na Tabela 3:

Quantidade	Descrição	Consumo (kWh)	Consumo Total (kWh)
12	Lâmpada de LED	0,015	0,18
3	Televisor	0,2	0,6
1	Computador	0,3	0,3
1	Ar Condicionado 12000 BTU	3,52	3,52
1	Ar Condicionado 21000 BTU	6,15	6,15
1	Máquina de Lavar	1	1
1	Geladeira	0,5	0,5
1	Micro-ondas	1,2	1,2
1	Aspirador de pó	1,6	1,6
Total (kW)			15,05

Tabela 3 – Levantamento de carga

Fonte: Autores (2020)

De acordo com a Tabela 3 esta residência tem como carga 15,05 kW. Para fins comparativos utiliza-se dados de geradores listados nas Tabelas 4 e 5.

- Branco motores (Tabela 4), Diesel 4T, 3 cilindros, 60Hz, refrigerado a água, modelo do motor BD - 29.0. R\$ 40.313,00

Especificação Técnica					
Poder Calorífico	Potência Aparente	Fator de Potência	Consumo	Tensão	Fases
43.888 kJ/kg	20,6 kVA	0,8	5,65 l/h	220/380V	3

Tabela 4 – Dados do gerador a Diesel

Fonte: Autores (2020)

- Generac (Tabela 5), 2 cilindros, 3600RPM, 60Hz, refrigerado a ar, Motor a gás natural, modelo G-Force 1000 Series. R\$ 31.276.48

Especificação Técnica					
Poder Calorífico	Potência Aparente	Fator de Potência	Consumo	Tensão	Fases
40.166 kJ/kg	21kVA	0,8	8,69 m³/h	240 V	3

Tabela 5 – Dados do gerador a gás natural

Fonte: Autores (2020)

O preço dos combustíveis sofre alterações constantemente devido ao custo de produção, distribuição, venda, ICMS, CIDE, PIS/PASEP e COFINS, no gráfico abaixo pode-se observar a alteração.

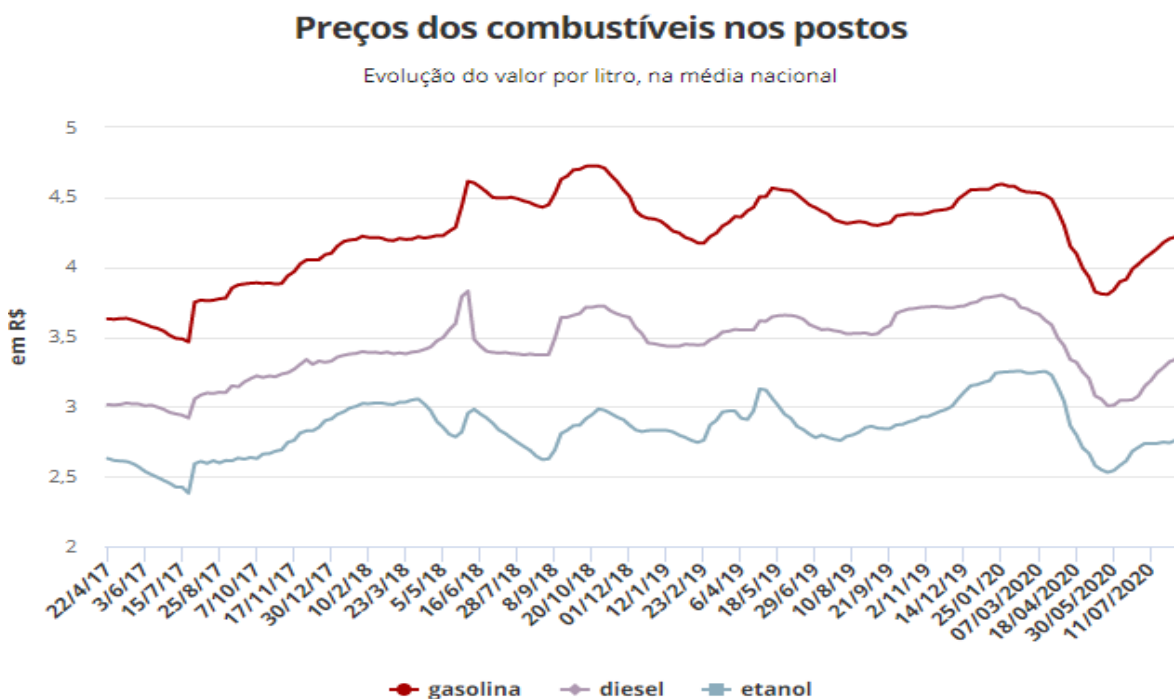


Figura 11 – Preço dos combustíveis nos postos

Fonte: ANP (2020)

Para que a comparação de consumo seja feita, foi considerado o preço médio dos combustíveis no estado do Rio de Janeiro, listados na Tabela 6.

Preço médio dos combustíveis por litro			
GNV	Etanol	Gasolina	Diesel
R\$ 3,277	R\$ 4,063	R\$ 4,950	R\$ 3,716

Tabela 6 – Preço médio dos combustíveis por litro

Fonte: Autores (2020)

O gráfico a seguir mostra o consumo diário da residência escolhida, é nítido o pico de consumo justamente durante o horário de pico onde a concessionária cobra até 87% a mais do consumidor.

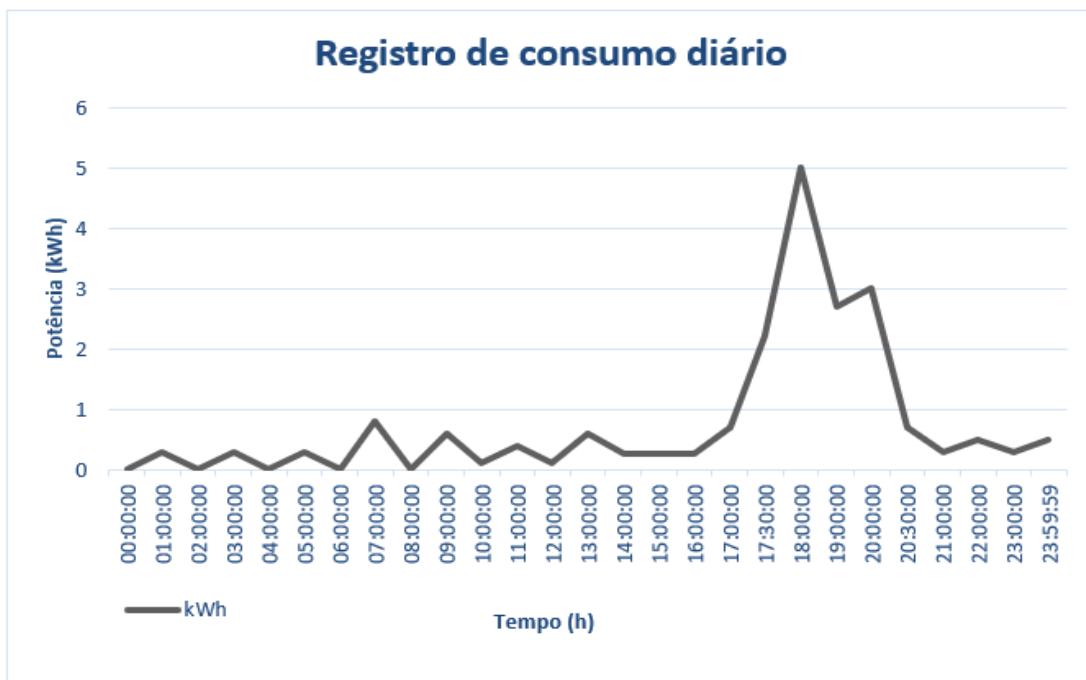


Figura 12 – Registro de consumo diário

Fonte: Autores (2020)

Analisando o consumo, pode-se ver que cerca de 70% do valor da conta é cobrado apenas referente ao horário de ponta.

O objetivo é utilizar o gerador durante o horário de ponta de cada dia, para isso precisa-se calcular o custo de cada gerador por esta fórmula:

$$\text{Custo do combustível} = (\text{consumo}) * (\text{tempo em funcionamento})$$

O tempo utilizado será de três horas diárias, 17:30 às 20:30, pode-se calcular o valor gasto de combustível pelos geradores como mostra na Tabela 7.

Consumo			
Gerador	Geração	Consumo	Resultado
Diesel	20,6 kVA	5,65 l/h	R\$ 62,986
Gás Natural	21 kVA	8,69 m ³ /h	R\$ 85,431

Tabela 7 – Consumo dos geradores

Fonte: Autores (2020)

Para realizar a comparação com o gerador a Hidrogênio foi feita a relação entre seu poder calorífico e o do gás natural.

$$\text{Relação} = \frac{\text{Poder calorífico (H}_2\text{)}}{\text{Poder calorífico (GN)}} = \frac{141.838 \text{ kJ/kg}}{40.166 \text{ kJ/kg}} = 3,5313$$

Considerando que o gás Hidrogênio seja aplicado no mesmo gerador que o de gás natural, será realizada a redução o consumo de 8,69 m³/h (GN) para 2,46 m³/h (H₂), mantendo a demanda instalada pelo consumidor. Em comparação aos geradores, se torna muito viável, pois como será produzido o Hidrogênio durante o dia através da eletrolise no gerador de Hidrogênio, o custo com o combustível do gerador de energia será bem menor, apenas com a manutenção do sistema e a solução para eletrólise. Tem-se as especificações técnicas do Gerador de Hidrogênio na Tabela 8.

- BT-600HHO (Tabela 8) Industrial Gerador de Hidrogênio 0-600L/hora, 220V/9A, 110V/18,6A, 2k4W.

Especificação Técnica		
Capacidade do tanque	Consumo	Geração de gás (H₂)
12,6 L	0,18 L/h	0,6 m ³ /h

Tabela 8 – Gerador de Hidrogênio

Fonte: Autores (2020)

Para que o gerador de energia fique em operação durante três horas, é necessário que a carga de 7,38m³ de Hidrogênio. O gerador de Hidrogênio tem autonomia para gerar 0,6 m³/h, efetua-se o cálculo do tempo necessário que o mesmo terá de operar para que tenha carga suficiente para atender o gerador de energia conforme a formula abaixo:

$$\text{Tempo Ligado} = \frac{7,38 \text{ m}^3}{0,6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 12,3 \text{ h} = 12\text{h}18\text{min}$$

O gerador deve operar durante 12h18min para que tenha carga de gás (H₂) suficiente para atender o gerador de energia, cumprindo a demanda durante as três horas de funcionamento.

Como o gerador de Hidrogênio possui um consumo de 0,18 L/h, calcula-se a solução total necessária para a produção conforme a formula abaixo:

$$\text{Solução total} = 0,18 \frac{\text{L}}{\text{h}} * 12,3 \text{ h} = 2,214 \text{ L}$$

Utiliza-se hidróxido de sódio (NaOH) e água (H₂O) nesta solução, a proporção é de 1:5 para que a eletrólise tenha maior eficiência, será necessária 1/5 de NaOH e 4/5 de H₂O conforme a formula abaixo:

$$\text{Quantidade de H}_2\text{O} = \frac{4}{5} * 2,214 \text{ L} = 1,7712 \text{ L}$$

$$\text{Quantidade de NaOH} = \frac{1}{5} * 2,214 \text{ L} = 0,4428 \text{ L}$$

Custo total da solução eletrolítica diária			
	Quantidade (L)	Custo (R\$/L)	Valor do produto
H ₂ O	1,7712	R\$ 0,00178	R\$ 0,003
NaOH	0,4428	R\$ 16,50	R\$ 7,313
Total			R\$ 7,316

Tabela 9 – Custo da Solução Eletrolítica

Fonte: Autores (2020)

Para que seja feito a eletrólise é necessário calcular a potência necessária para o funcionamento durante as 12h18min para abastecer o cilindro de Hidrogênio.

$$\text{Potência consumida (kWh)} = 12,3 \text{ h} * 2400\text{W} = 29,52\text{kWh}$$

Considerando a instalação configurada para um consumidor de Tarifa Branca, tem-se o seguinte custo com esta operação.

$$\text{Valor gasto (R$/dia)} = 29,52\text{kWh} * 0,585 = \text{R\$ } 17,27 \text{ /dia}$$

Como o projeto está configurado para que o sistema fotovoltaico forneça energia ao gerador de Hidrogênio, o custo será apenas o da solução NaOH e H₂O.

Custo com combustível			
Gerador	Geração	Consumo	Resultado
Diesel	20,6 kVA	5,65 l/h	R\$ 62,99
Gás Natural	21 kVA	8,69 m ³ /h	R\$ 85,43
Hidrogênio	21 kVA	2,46 m ³ /h	R\$ 7,31

Tabela 10 – Custo com combustíveis

Fonte: Autores (2020)

Foi levantado o orçamento para aplicação do projeto com fornecedores de referência no mercado. Dados na Tabela 11.

ITEM	Descrição	Un.	Quantidade	Valor Un.	Valor Total
1	Gerador Solar On-Grid 5,6kWp - 5,0kW	cda	1	R\$ 20.919,87	R\$ 20.919,87
2	Compressor de ar 100-300Bar 220V 1k8W	cda	1	R\$ 13.332,32	R\$ 13.332,32
3	Gerador de Hidrogênio	cda	1	R\$ 10.513,69	R\$ 10.513,69
4	Cilindro de Armazenamento 1000PSI 10m ³	cda	1	R\$ 1.498,23	R\$ 1.498,23
5	Gerador de Energia a gás	cda	1	R\$ 31.276,48	R\$ 31.276,48
6	Custos com instalação	cda	1	R\$ 1.862,34	R\$ 1.862,34
7	Painel de Comando	cda	1	R\$ 703,77	R\$ 703,77
8	Mangueira 3/4" PVC Flexível	m	10	R\$ 8,80	R\$ 88,00
9	Conexão tipo T de latão 3/4"	cda	1	R\$ 26,00	R\$ 26,00
10	Válvula de retenção horizontal 3/4"	cda	2	R\$ 37,50	R\$ 75,00
11	Válvula Corta-chamas 3/4"	cda	1	R\$ 63,70	R\$ 63,70
12	Válvula Reguladora de Pressão 250 Bar	cda	2	R\$ 81,60	R\$ 63,20
13	Válvula Solenoide Ev220b 25b 1 Sc/nf Nbr Danfoss	cda	2	R\$ 1.385,93	R\$ 2.771,86
14	Detector de Hidrogênio Medidor Analisador de Gás H2	cda	1	R\$ 2.634,16	R\$ 2.634,16
15	Pressostato Norgren 0882300 De 25 À 250 Bar	cda	2	R\$ 140,00	R\$ 280,00
TOTAL					R\$ 86.108,62

Tabela 11 – Levantamento de custo do projeto

Fonte: Autores (2020)

Como se trata de um projeto On-Grid, toda energia gerada em excesso será

enviada a concessionária em forma de crédito, sabendo que a demanda instalada é de 15,05 kW e o gerador tem autonomia para gerar 21 kVA com um fator de potência de 0,8 e uma potência ativa de 16,8kW, pode-se dizer que 1,75 kWh será cedido a concessionária durante o funcionamento gerando uma economia na fatura de energia.

Durante o cálculo foi considerada a pior das hipóteses, que a residência estudada operasse com sua maior carga durante o horário de pico.

O Gerador de Hidrogênio e o Gerador de Combustão a gás, são os principais equipamentos necessários para que o projeto opere, porém são responsáveis por 65,72% do custo total do projeto. Com a fabricação de motores exclusivos para trabalhar com gás Hidrogênio, reduzirá o custo do projeto, além do desenvolvimento dos Geradores de Hidrogênio com maior autonomia para que não fique tanto tempo operando para produzir Hidrogênio para ser utilizado em poucas horas, sabendo que a cada quatro horas de operação do Gerador de Hidrogênio, terá uma hora de operação para o gerador de energia.

6 CONCLUSÃO

Os geradores de energia a combustão são uma opção para o mercado energético, porém os combustíveis fósseis emitem uma quantidade enorme de dióxido de carbono na atmosfera que se for aplicado em grande escala resultará em um impacto negativo no meio ambiente.

Então neste trabalho, o objetivo foi buscar uma nova fonte de energia visando utilizá-la como uma futura alternativa na geração de energia, visto que a utilização dos combustíveis fósseis é prejudicial ao meio ambiente.

O gás Hidrogênio é o elemento mais abundante no universo, seu peso é cerca de 14 vezes mais leve que a do ar, elemento altamente inflamável muito utilizado em equipamentos com tecnologia avançada como espaçonaves e submarinos. Até na fabricação de bombas pode ser utilizado pelo seu alto poder calorífico. Contudo se for bem utilizado, controlado e estudado poderá ser aproveitado de forma benéfica para a planta energética do mundo como o urânio é aplicado em usinas elétricas nucleares.

Como se trata de um projeto inovador, foi concluído que ainda é muito difícil a produção de gás hidrogênio em grande escala e assim tornando um projeto inviável para consumidores com baixa tensão, pois a exploração de petróleo é muito rentável para grandes empresas, porém com um trabalho conjunto de pesquisas entre especialistas da área mecânica, química e elétrica, pode-se evoluir para que seja produzido em grande escala. Acredita-se que futuramente com novos recursos pode-se trazer a viabilidade para a produção em grande escala podendo dessa forma atender consumidores baixa, média, e alta tensão.

7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

4 razões explicam a “força” do motor a diesel. **Royal FIC**, 2019. Disponível em: <<https://www.royalfic.com.br/motor-a-diesel-tem-mais-torque-saiba-mais/>>. Acesso em: 26 de out. de 2020.

ALUGAGERA. Você sabe qual a diferença entre os motores do ciclo otto e os motores do ciclo diesel?. **Alugagera**, 2017. Disponível em: <<https://alugagera.com.br/noticias/diferencas-entre-motores-do-ciclo-otto-e-ciclo-diesel>>. Acesso em: 15 de nov. de 2020.

BRASIL, Pti. Hidrogênio. **Youtube**, 1 jun. 2018. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=IlpeAh7IQLE>>. Acesso em: 02 ago. 2020.

C. DE SOUZA, Climaco. Hidrogenio e célula de hidrogênio já são o futuro da energia barata e sustentável. **AgroLink**, 2020. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/colunistas/coluna/hidrogenio-e-celulas-de-hidrogenio-ja-sao-o-futuro-da-energia-barata-e-sustentavel_431501.html#:~:text=O%20pre%C3%A7o%20m%C3%A9dio%20do%20hidrog%C3%AAnio,de%20um%20carro%20a%20gasolina%E2%80%9D>. Acesso em: 09 de out. de 2020.

Conhece o processo de geração de energia elétrica. **Infinity sun**, 2017. Disponível em: <<https://infinitysun.com.br/processo-geracao-energia-eletrica/>>. Acesso em: 07 de out. de 2020.

Como Funcionam Usinas Térmicas. **CBIE**, 2020. Disponível em: <<https://cbie.com.br/artigos/como-funcionam-usinas-termicas/>>. Acesso em: 16 de set. de 2020.

Curva de Carga (MW). **ONS**, 2020. Disponível em:<<http://ons.org.br/paginas/energia-agora/carga-e-geracao>>. Acesso em: 22. set. 2020.

DI SOUZA, Ronilson. Sistema fotovoltaico conectado à rede (On Grid). **BlueSol**, 2017. Disponível em: < <https://blog.bluesol.com.br/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-on-grid/>>. Acesso em: 09 de out. de 2020.

DI SOUZA, Ronilson. Sistema fotovoltaico Off-Grid. **BlueSol**, 2016. Disponível em: < <https://blog.bluesol.com.br/sistema-fotovoltaico-off-grid-isolado-voce-acha-que-sabe-tudo/>>. Acesso em: 09 de out. de 2020.

Energia solar como funciona? Entenda de forma simples e direta. **BlueSol**, 2017. Disponível em: < <https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-como-funciona/>>. Acesso em: 08 de out. de 2020.

Fontes. **CCEE**, 2019. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuasse/fontes>. Acesso em: 18 de set. de 2020.

Gás Natural. **anp**, 2020. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/gas-natural#:~:text=G%C3%A1s%20natural%20%C3%A9%20uma%20subst%C3%A2ncia,com%20teores%20abaixo%20de%202%25>>. Acesso em: 16 de nov. de 2020.

Gerador a gasolina ou a diesel, qual escolher ?. **CONECTA FG**, 2018. Disponível em: < <http://conectafg.com.br/conheca-geradores-a-combustao/>>. Acesso em: 14 de out. de 2020.

Gerador de energia a diesel: o que é e como funciona Entenda de forma simples e direta. **degraus**, 2015. Disponível em: < <https://www.degraus.com.br/gerador-de-energia-a-diesel-o-que-e-e-como-funciona/>>. Acesso em: 14 de out. de 2020.

L. DA SILVEIRA, Fernando. Máquinas térmicas à combustão interna de Otto e de Diesel. **ufrgs**. Disponível em: < <http://www.if.ufrgs.br/fis183/textos/maquinas/maquinas.html>>. Acesso em: 18 de nov. de 2020.

GIMENES, Diego. Energia eólica: investimentos bilionários para o produtivo vento do Brasil. **veja**, 2020. Disponível em: < <https://veja.abril.com.br/economia/energia-eolica-investimentos-bilionarios-para-o-produtivo-vento-do-brasil/>>. Acesso em: 26 de nov. de 2020.

GODULA-JOPEK, Agata. Hydrogen Production: by Electrolysis. 1ª Edição. Polônia: Wiley-VCH, jun. de 2015.

O'HAYRE, Ryan. et al. Fuel Cell Fundamentals. 3ª Edição. Canadá: Wiley, maio de 2016.

ÇENGEL, Yunus; GHAJAR, Afshin. **Transferencia de Calor e Massa: Uma abordagem prática**. 4ª Edição. Porto Alegre: AMGH, 2012.

O que é sistema on-grid de geração de energia solar e quais as vantagens dessa modalidade? **Quantum**, 2019. Disponível em: <<https://www.quantumengenharia.net.br/o-que-e-sistema-grid-de-geracao-de-energia-solar-e-quais-vantagens-dessa-modalidade/>>. Acesso em: 11 de out. de 2020.

Ponto fulgor. **Wikipédia**, 2020. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponto_de_fulgor>. Acesso em: 14 de out. de 2020.

Primeira usina de geração de eletricidade. **Mundo da Elétrica**, 2020. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com/primeira-usina-de-geracao-de-eletricidade/>>. Acesso em: 15 de ago. de 2020.

SANTOS, F. M. S. M. dos; SANTOS, F. A. C. M. dos. O combustível hidrogênio. In: *Educação, Ciência e Tecnologia*. [S.l.: s.n.], 2001.

Simplício explica: motor ciclo otto. **Simplio**, 2019. Disponível em: <<https://www.simplusbr.com/noticias/detalhes/simplicio-explica-motor-ciclo-otto>>. Acesso em: 14 de out. de 2020

Você sabe o que é um ciclo otto em um motor. **Kelley Blue Book**, 2018. Disponível em: < <https://www.kbb.com.br/detalhes-noticia/o-que-e-ciclo-otto/?ID=1270>>. Acesso em: 14 de out. de 2020

Volta Redonda. **Preço dos combustíveis**, 2020. Disponível em: < <https://precodoscombustiveis.com.br/pt-br/city/brasil/rio-de-janeiro/volta-redonda/3265>>. Acesso em: 17 de nov. de 2020.