



Eletrolisador para Produção de Hidrogênio como Combustível Sustentável

Guilherme Bazan

Paulo Enrique Horta Corrêa

Eduardo de Medeiros Braga

Carmen Miranda Sousa Oliveira

Ricardo Tesser Vieira

SENAI Hermenegildo Campos de Almeida

Setembro de 2024

Resumo

Atualmente o mundo está passando por mudanças catastróficas em certos assuntos. Sendo um dos grandes problemas a mudança climática brusca, como por exemplo chuvas intensas causadoras das enchentes no Rio Grande do Sul, aumento drástico em temperatura com 41°C em Cuiabá batendo novamente o recorde de calor em 2024 e a queda de temperatura foi provocada por uma massa de ar polar que conseguiu romper a massa seca que cobria o país variando de 4°C até 5,6°C.

Analizando as alterações climáticas levamos em consideração a queima de combustíveis fósseis de forma exacerbada que é o maior vilão para o meio ambiente e para a sociedade. O desenvolvimento do nosso projeto visa a implantação do hidrogênio em diversas formas e em inúmeras aplicações como por exemplo fonte de energia limpa, praticidade em obter o hidrogênio sem importações, facilidade de aplicações na indústria pois a queima do hidrogênio é de certa forma uma ótima opção de combustível sem perda de funcionamento.

Palavras chaves: Hidrogênio verde, eletrolise e combustíveis.

Introdução

Ao longo dos anos, o mundo tem experimentado transformações significativas, muitas das quais resultaram em inovações que, a longo prazo, têm causado impactos ambientais substanciais. Entre essas inovações, destaca-se a queima de combustíveis fósseis para a geração de energia, tanto em indústrias e fábricas quanto em veículos automotores.

O consumo de combustíveis fósseis aumentou exponencialmente ao longo dos anos, atingindo níveis exacerbados de utilização. Consequentemente, a emissão de gases poluentes, especialmente o dióxido de carbono (CO₂), também aumentou significativamente, alcançando uma escala global alarmante. A quantidade de poluentes é tão elevada que as plantas não conseguem mais filtrar adequadamente esses gases, comprometendo o equilíbrio atmosférico.

Esse problema tem causado danos consideráveis à camada de ozônio, que desempenha um papel crucial na filtragem dos raios solares. Em regiões com alta concentração de poluentes, esses gases formam uma barreira na atmosfera, impedindo a troca adequada de temperatura entre as camadas atmosféricas. Como resultado, essas áreas podem experimentar temperaturas extremas, seja calor excessivo ou frio intenso, afetando diretamente as mudanças climáticas e o meio ambiente.

Em virtude dos aspectos abordados, a adaptação para uma combustão limpa pode evitar grandes impactos ambientais. Qual a solução para esta ação? A utilização de um eletrolisador adaptado para diversas utilizações que precisam da combustão para seu funcionamento. Ele é um dispositivo que permite produzir hidrogênio por meio de um processo químico (eletrólise) capaz de quebrar as moléculas da água em hidrogênio e oxigênio através da eletricidade, resultando em um combustível limpo pronto para ser utilizado.

Adiante, existem muitos sistemas e equipamentos que necessitam de combustível fóssil para combustão e geração de energia, como os diversos motores, os geradores, as caldeiras, as bombas e os aquecedores, porém como geram muita poluição, estão se tornando uma opção cada vez menos viável para com o meio ambiente. Logo, a integração desse eletrolisador e consequente substituição dos combustíveis fósseis desses dispositivos pelo hidrogênio, é uma excelente alternativa que reduzirá significativamente a poluição e preservará a qualidade do meio ambiente para o futuro.

Além disso, a utilização desse eletrolisador facilitará muito para que se consiga o hidrogênio, pois não é algo fácil de se conseguir através de outros meios, os quais são até mais caros e desvantajosos comparados a esse equipamento.

Nosso projeto engloba as seguintes ODS:

- 7. Energia limpa e acessível;**
- 8. Trabalho digno e crescimento econômico;**
- 9. Indústria, inovação e infraestrutura;**
- 10. Cidades e comunidades sustentáveis;**
- 11. Cidades e comunidades sustentáveis;**
- 12. Consumo e produção responsáveis;**
- 13. Combate às alterações climáticas;**
- 17. Parcerias e meios de implementação.**

Objetivo

Promover diversas utilizações do hidrogênio no dia a dia, substituindo o uso de combustíveis fósseis por hidrogênio limpo e sustentável. Este hidrogênio é obtido diretamente da água através de uma tecnologia inovadora que utiliza eletrolisadores para separar as moléculas de água, destinando o hidrogênio para uma ampla gama de aplicações. Entre essas aplicações estão veículos movidos a hidrogênio, sistemas de aquecimento, geração de eletricidade para residências e indústrias, substituição do combustível utilizado em diversos motores a combustão. O processo de obtenção do hidrogênio é totalmente sustentável, não liberando poluentes ao meio ambiente, o que contribui significativamente para a redução da pegada de carbono e promove um futuro mais verde e limpo. Além disso, a utilização do hidrogênio como fonte de energia pode ajudar a diversificar a matriz energética e aumentar a segurança energética global.

Metodologia

a. Pesquisas referentes ao projeto

As principais fontes de emissão de poluentes na atmosfera incluem veículos automotores, processos industriais que envolvem a queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo, entre outros inúmeros processos relacionados ao uso de combustíveis fósseis ou ao descarte inadequado desses materiais (CETESB).

Atualmente, a produção global de automóveis particulares é uma das principais indústrias do mundo. Em 2023, aproximadamente 73,5 milhões de veículos foram vendidos, com uma projeção de crescimento para 76,1 milhões em 2024. Esse aumento representa uma recuperação do mercado após as dificuldades enfrentadas nos últimos anos. Além disso, as vendas de veículos elétricos estão crescendo rapidamente, oferecendo uma alternativa mais sustentável para o meio ambiente. No entanto, o consumo elevado de eletricidade por esses veículos ainda é um desafio. Considerando o aumento desenfreado da frota global, o consumo de combustíveis fósseis atinge números inimagináveis.

House Grail - Forneceu dados sobre as vendas globais de automóveis e a participação de veículos elétricos nas vendas totais.

ABI Research - Ofereceu projeções detalhadas sobre a produção e venda de veículos, incluindo previsões de crescimento até 2030.

b. Criação e pesquisa do protótipo

Inicialmente, buscamos identificar um problema significativo causado pelos seres humanos que impacta diretamente a natureza. Em 2024, ocorreram as maiores variações climáticas já registradas, resultando em diversos desafios ambientais. A partir disso, decidimos investigar a raiz desse problema, identificada como a poluição atmosférica, particularmente a causada pela queima de combustíveis fósseis, uma das principais responsáveis pelos problemas que afetam a humanidade.

Diante desse cenário, optamos por utilizar a água como nossa maior aliada. Após extensas pesquisas, constatamos que o hidrogênio extraído da água é altamente inflamável, oferecendo uma alternativa de combustão limpa e renovável.

Utilizamos um eletrolisador para realizar o processo de eletrólise, que consiste em uma reação não espontânea de oxirredução, desencadeada pela aplicação de uma corrente contínua externa. Na preparação da célula eletrolítica, utilizamos dois eletrodos (um ânodo e um cátodo), imersos em uma solução aquosa condutora.

Quando a corrente contínua passa pela água por meio dos eletrodos, os cátions são atraídos pelo eletrodo negativo (cátodo) e os ânions pelo eletrodo positivo (ânodo), resultando na formação de substâncias simples. Esse processo quebra as moléculas de água, permitindo a extração de hidrogênio, que pode então ser utilizado como fonte de energia.

c. Equipamentos gerais utilizados

1. Fonte de 24V-10A de Corrente Contínua: Esta fonte fornece a energia elétrica necessária para alimentar a célula eletrolítica. A tensão de 24V e a corrente de 10A são aplicadas à célula para iniciar e manter o processo de eletrólise.
2. Regulador de Tensão com Potenciômetro: O regulador de tensão é usado para ajustar a tensão de saída da fonte, controlando assim a intensidade do processo de eletrólise. O potenciômetro, que é um componente variável, permite ajustar manualmente a tensão, e consequentemente, a produção de hidrogênio. Ao aumentar a tensão, você aumenta a corrente elétrica passando pela célula, o que pode acelerar a separação das moléculas de água e, portanto, aumentar a produção de hidrogênio.

d. Equipamentos utilizados para o processo de eletrólise

1. Reservatório de Água: A água, que é o reagente no processo de eletrólise, é armazenada em um reservatório. Este reservatório é conectado à célula eletrolítica por meio de uma mangueira ou tubo.
2. Célula Eletrolítica: A célula eletrolítica é o componente onde ocorre a separação das moléculas de água (H_2O) em hidrogênio (H_2) e oxigênio (O_2). Quando a corrente elétrica da fonte é aplicada aos eletrodos dentro da célula, os íons H^+ migram para o cátodo, onde são reduzidos para formar hidrogênio gasoso. Simultaneamente, no ânodo, os íons OH^- (ou H_2O) são oxidados para liberar oxigênio gasoso.
3. Coleta de Hidrogênio: O hidrogênio gasoso gerado na célula eletrolítica é direcionado por uma mangueira conectada à parte superior do reservatório. Este hidrogênio pode ser coletado, armazenado ou utilizado imediatamente para diversas aplicações.

e. Controle da produção de hidrogênio

O uso do regulador de tensão com o potenciômetro permite controlar a quantidade de hidrogênio produzido. Ao ajustar a tensão aplicada à célula, você pode aumentar ou diminuir a intensidade da corrente elétrica, o que influencia diretamente a taxa de eletrólise e, portanto, a quantidade de hidrogênio gerado. Isso é útil para otimizar a produção conforme a necessidade da aplicação ou as limitações de segurança.

f. Aplicações práticas

Esse sistema pode ser utilizado em experimentos laboratoriais, em pequenas escalas de produção de hidrogênio para uso como combustível, ou em demonstrações de como o hidrogênio pode ser gerado de forma relativamente simples e eficiente.

O hidrogênio é amplamente reconhecido como um dos melhores combustíveis para a transição energética devido às suas características únicas e vantagens ambientais. Quando utilizado em células de combustível, o hidrogênio gera apenas água como subproduto, o que o torna um combustível extremamente limpo, sem emissões de gases de efeito estufa durante o seu uso. Isso é particularmente importante em um cenário global que busca reduzir a pegada de carbono e mitigar as mudanças climáticas.

Além disso, o hidrogênio pode ser produzido a partir de uma variedade de fontes, incluindo energia renovável, como solar e eólica, o que contribui ainda mais para a sua sustentabilidade. A versatilidade do hidrogênio permite que ele seja usado não apenas em transporte, mas também em processos industriais de alta temperatura e na geração de energia elétrica, onde pode ajudar a equilibrar a intermitência das fontes renováveis, funcionando como uma solução de armazenamento de energia em larga escala.

No entanto, existem desafios associados ao uso do hidrogênio, como o custo da produção de hidrogênio "verde" e as questões de segurança relacionadas ao seu armazenamento e transporte. Mesmo assim, as pesquisas e inovações continuam a avançar, tornando o hidrogênio cada vez mais viável como um componente chave na transição para um sistema energético mais limpo e sustentável.

As pesquisas foram realizadas por meio de videoaulas, estudos sobre hidrogênio verde, energias renováveis e combustão limpa, além de consulta a sites de engenharia química. Também foram

utilizados conhecimentos adquiridos em cursos técnicos e de aperfeiçoamento, como elétrica, hidrogênio verde e energias renováveis.

Desenvolvimento

Nosso projeto tomou forma ao realizarmos testes de bancada envolvendo o eletrolisador e o controle da produção de hidrogênio, utilizando um regulador de tensão ou um reostato para ajustar a geração de hidrogênio.

Eletrolisador:

O eletrolisador utilizado é relativamente simples, composto por uma estrutura de acrílico, no interior da qual se encontram chapas condutoras, configurando um eletrolisador do tipo PEM (Membrana de Troca de Prótons). Nas extremidades, conectamos os terminais positivo e negativo, aplicando uma tensão de 24 VCC. O controlador permite regular a tensão, que, por sua vez, controla a corrente elétrica. Alternativamente, utilizamos um reostato para limitar a corrente através da introdução de resistência no circuito.

Processo de Eletrólise:

A eletrólise da água é um processo químico no qual a molécula de água (H_2O) é decomposta em seus elementos químicos básicos, hidrogênio (H_2) e oxigênio (O_2), mediante a aplicação de uma corrente elétrica. Quando a eletrólise ocorre em água desmineralizada, livre de íons como cálcio e magnésio, o processo se mantém, mas exige considerações especiais devido à baixa condutividade elétrica da água pura.

Conceito Básico:

Na eletrólise, dois eletrodos (ânodo e cátodo) são submersos na água desmineralizada, e uma corrente elétrica é aplicada entre eles, causando a separação das moléculas de água em gases de oxigênio e hidrogênio.

- Cátodo (eletrodo negativo): Onde ocorre a redução, os prótons (H^+) recebem elétrons e formam moléculas de hidrogênio (H_2).
- Ânodo (eletrodo positivo): Onde ocorre a oxidação, as moléculas de água perdem elétrons, liberando oxigênio (O_2) e prótons (H^+).

O hidrogênio é liberado no cátodo, e o oxigênio, no ânodo.

Importância da Água Desmineralizada:

Devido à baixa condutividade da água desmineralizada, geralmente é necessário adicionar um eletrólito, como hidróxido de potássio (KOH) ou ácido sulfúrico (H_2SO_4), para aumentar a condução elétrica sem interferir nas reações principais.

Produtos da Eletrólise:

- Hidrogênio (H_2): Liberado no cátodo como gás, podendo ser coletado e utilizado como combustível limpo, uma vez que sua combustão gera apenas água.
- Oxigênio (O_2): Liberado no ânodo, podendo ser descartado ou coletado para outros fins.

Energia Necessária:

A eletrólise da água requer energia elétrica, sendo que a energia mínima teórica é de cerca de 1,23 V. Na prática, tensões mais altas são aplicadas para compensar as perdas no sistema.

Uso em Hidrogênio Verde:

Esse processo é crucial para a produção de hidrogênio verde, que utiliza eletricidade de fontes renováveis (solar, eólica etc.) para realizar a eletrólise. O hidrogênio gerado é uma fonte de energia limpa, pois, ao ser utilizado em células a combustível ou combustão, libera apenas vapor d'água como subproduto, que ao ser condensado podemos utilizar essa água.

Hardware:

Ligações hidráulicas:

O eletrolisador obtendo uma entrada e uma saída, sendo os mesmos conectados ao reservatório por meio de mangueiras de 10 mm. O reservatório de água, semelhante do carro, tendo um nível de água e a parte superior ficaria o hidrogênio em um grande fluxo de passagem assim tendo uma saída para os gases.

Ligação elétrica:

Para os ensaios de bancada foram necessários os seguintes equipamentos:

- Fonte 24 Vcc;
- Reostato ou controlador;
- Cabos 2,5 mm;
- Eletrolisador;

- Medidor de quantidade de gases.

Conectamos a fonte (24Vcc–10DC) em uma alimentação 110V na entrada e na saída conectamos o positivo da fonte na polaridade positiva do eletrolisador, o polo negativo do eletrolisador foi conectado ao terminal do reostato (200Ω), e o negativo da fonte foi conectado ao reostato.

Medidas:

O eletrolisador produz mais de 1000 ppm que é o máximo que o nosso medidor de gases pode medir, tendo o valor obtido após 15s de alimentação. Para produzir essa quantidade foi necessário a tensão máxima. Ao aplicar a resistência ainda foi obtido mais de 1000ppm.

a. Justificativa

Dada a significativa dependência global de combustíveis fósseis, como petróleo, gás natural e carvão mineral, para a produção de energia, e a certeza de que a combustão desses combustíveis gera poluição constante, destruindo a qualidade do ar atmosférico, aumentando o efeito estufa, provocando alterações climáticas anômalas e prejudicando a camada de ozônio, nosso projeto visa promover uma alternativa ideal a essa queima poluente desenfreada. Propomos a utilização do hidrogênio produzido a partir do eletrolisador e da água, cuja combustão é limpa e não gera poluentes ambientais, representando uma solução significativa para a redução desse problema.

A queima de hidrogênio difere substancialmente da queima de combustíveis fósseis. Quando combustíveis fósseis, como petróleo e seus derivados, são queimados, são liberados na atmosfera H_2O (água), CO_2 (dióxido de carbono), CO (monóxido de carbono), NO_2 (dióxido de nitrogênio), SO_2 (dióxido de enxofre), entre outros. Alguns desses compostos, como CO_2 , CO , NO_2 e SO_2 , são extremamente tóxicos para os seres humanos e o meio ambiente. Em contraste, a combustão do hidrogênio libera principalmente água (H_2O), com mínimas quantidades de óxido de nitrogênio (NO) devido ao contato com o nitrogênio (N_2) presente no ar. No entanto, a diferença em relação aos combustíveis fósseis é enorme, tornando o hidrogênio uma alternativa muito mais limpa e sustentável.

b. Problemas que serão solucionados pelo projeto

- **Emissão de gases do efeito estufa (GEE):** Devido à emissão desenfreada de gases, principalmente pela queima de combustíveis fósseis, há uma concentração anormal de gases na atmosfera, provocando mudanças irreversíveis no clima do planeta. Nos

últimos cem anos, a Terra e os oceanos também sofreram um aumento considerável na temperatura. Entre as principais consequências do efeito estufa estão:

- Derretimento das calotas polares e consequente aumento do nível do mar;
 - Prejuízos na produção de alimentos, como nas colheitas e na pesca;
 - Extinção de espécies e danos a diversos ecossistemas;
 - Perda de terras devido ao aumento do nível do mar, gerando migrações de pessoas;
 - Escassez de água em certas regiões;
 - Inundações nas latitudes do norte e no Pacífico Equatorial;
 - Riscos de conflitos devido à escassez de recursos naturais;
 - Problemas de saúde causados pelo aumento da temperatura;
 - Previsão de aumento da temperatura em 2°C até 2100.
- **Poluição do ar:** Uma em cada cinco mortes pode ser associada à poluição do ar causada pela queima de combustíveis fósseis, o que equivale a 8 milhões de mortes por ano em todo o mundo. Isso ocorre porque a inalação do ar contendo partículas resultantes da combustão de combustíveis como carvão mineral, gasolina e diesel pode ser extremamente prejudicial à saúde humana. Essas partículas agravam problemas respiratórios, como a asma, e podem desencadear o desenvolvimento de câncer de pulmão, doenças coronarianas, derrames e morte prematura.
Esses problemas de saúde são causados pela inalação de partículas finas e tóxicas geradas pela queima desses combustíveis, que são pequenas o suficiente para se alojarem profundamente nos pulmões. Portanto, a poluição do ar é prejudicial à saúde de todas as pessoas ao redor do mundo.
 - **Dependência energética:** Dado que o mundo inteiro necessita de formas de produzir energia, a maneira que continua sendo a mais fácil e barata é a produção energética a partir de combustíveis fósseis. No entanto, é amplamente reconhecido que essa fonte de energia não é renovável, ou seja, é finita e, eventualmente, se esgotará. Se essa dependência persistir e não surgirem alternativas viáveis, o mundo enfrentará um colapso energético.
Além disso, a dependência de combustíveis fósseis é prejudicial tanto para a saúde humana quanto para o equilíbrio ambiental. Embora seja uma das alternativas mais viáveis economicamente, a longo prazo, os custos ambientais e de saúde serão exorbitantes.

É nesse contexto que nosso projeto se insere. A queima de hidrogênio, ao contrário dos combustíveis fósseis, não polui o meio ambiente. Embora essa alternativa exija maior uso de energia elétrica devido ao processo de eletrólise, e possa, em alguns casos, ter uma instalação menos viável, os benefícios ambientais são inegáveis e essenciais para a sustentabilidade do planeta.

Resultados e Discussões

Após a realização de pesquisas e testes, observou-se que a implementação do nosso projeto para uso cotidiano, apesar de inicialmente apresentar um custo de instalação mais elevado, torna-se extremamente viável e econômica ao longo do tempo, especialmente quando comparada aos recursos naturais não renováveis, como os combustíveis fósseis. Além da vantagem econômica, o projeto também proporcionará uma fonte de energia limpa e sustentável, o hidrogênio (H), que não polui o meio ambiente. Ademais, o hidrogênio é renovável e pode ser utilizado repetidamente sem causar danos ambientais.

Para avaliar se a utilização do hidrogênio na combustão de motores, em substituição aos combustíveis fósseis, seria realmente a melhor opção, realizamos uma série de pesquisas. Constatamos que existem diversas outras aplicações que não envolvem necessariamente a queima do hidrogênio. A combustão do hidrogênio, por ser muito rica e intensa, pode danificar equipamentos, como os motores, prematuramente, exigindo motores mais robustos, o que geraria custos adicionais e tornaria a opção menos viável. Portanto, o uso do hidrogênio em células a combustível também se apresenta como uma excelente alternativa, pois utiliza o hidrogênio para a produção de energia de forma semelhante à combustão, mas, em vez de gerar energia mecânica, produz energia elétrica, o que amplia significativamente suas aplicações.

Considerações Finais

A partir dos resultados obtidos no decorrer de todo o andamento do projeto, pudemos perceber que o hidrogênio tem uma diversidade imprescindível de utilizações, o que não se limita apenas à combustão, mas também à produção de energia elétrica. Além disso, acabamos por optar em trocar o foco do nosso projeto, voltado a utilização do hidrogênio como combustível nos motores, pois, o hidrogênio é muito volátil, então o uso do eletrolisador apenas para quebrar as moléculas da água em hidrogênio e usá-lo para combustão ficaria muito limitado.

Também conseguimos concluir que o uso do hidrogênio na produção de energia em pouco tempo gera um impacto extremamente positivo para o meio ambiente e consecutivamente para nós seres-humanos, pois é um elemento químico que não gera poluentes ao meio ambiente, e como sua fonte de produção no nosso projeto é a própria água, acaba por ser uma utilização muito econômica após sua implementação.

Aplicações e Estudo:

Nosso projeto visa explorar as aplicações industriais e automobilísticas, extraindo hidrogênio de forma eficiente e utilizando-o como combustível, com vapor d'água como subproduto, o qual pode ser condensado e reutilizado no processo de eletrólise.

1. Aplicações Industriais:

Uma das principais utilizações seria a substituição de carvão em altos-fornos, utilizando hidrogênio como redutor, o que oferece diversas vantagens:

- Redução de emissões: Em vez de CO_2 , o processo liberaria vapor d'água, tornando-o mais ecológico.
- Energia limpa: Utilizando hidrogênio verde, a pegada de carbono da indústria siderúrgica pode ser drasticamente reduzida.
- Eficiência: O hidrogênio pode ser mais reativo que o carbono, potencialmente acelerando a redução do minério de ferro.

No entanto, a adaptação dos altos-fornos para o uso de hidrogênio exigiria mudanças significativas, além do desafio de fornecer hidrogênio verde em larga escala e a um custo competitivo.

2. Aplicações Automobilísticas:

Carros adaptados com cilindros de hidrogênio e células a combustível podem converter a energia química do hidrogênio em energia elétrica e, conseqüentemente, em energia mecânica para o funcionamento do veículo. O tempo de abastecimento dos cilindros seria de cerca de 7 minutos.

3. Aplicações Residenciais:

O hidrogênio pode ser utilizado em sistemas de aquecimento a gás, oferecendo uma solução de aquecimento neutra em carbono, desde que produzido de forma sustentável.

Referências Bibliográficas

1. Introdução e Justificativa

- (1) PENA, Rodolfo F. Alves. "Combustíveis fósseis"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/geografia/combustiveis-fosseis.htm>. Acesso em 27 de agosto de 2024.
- (2) SILVA, Domiciano Correa Marques da. "Combustão"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/combustao.htm>. Acesso em 27 de agosto de 2024.
- (3) O que é criado quando o hidrogênio queima? Science, Disponível em: <https://pt.scienceaq.com/Chemistry/100403604.html>. Acesso em 27 de agosto de 2024.
- (4) SOUSA, Rafaela. "Efeito estufa"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/geografia/efeito-estufa.htm>. Acesso em 28 de agosto de 2024.
- (5) Educação Ambiental: Poluição do ar por combustíveis fósseis é responsável por uma em cada cinco mortes no mundo. eCycle, 2021. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/poluiasao-do-ar-por-combustiveis-fosseis-e-responsavel-por-uma-em-cada-cinco-mortes-em-todo-o-mundo-afirma-pesquisa/>. Acesso em 28 de agosto de 2024.

2. Metodologia

- (1) Qualidade do ar: Poluentes. CETESB. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluente/#:~:text=As%20principais%20fontes%20de%20emiss%C3%A3o,poeira%20do%20solo%2C%20entre%20outros>. Acesso em 01 de setembro de 2024.
- (2) U.S Department Of Energy. Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office: Hydrogen Fuel Basics. ENERGY.GOV. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-fuel-basics>. Acesso em 03 de setembro 2024.
- (3) GIACOMAZZI, Eugenio; TROIANI, Guido; DI NARDO, Antonio; CALCHETTI, Giorgio; CECERE, Donato; MESSINA, Giuseppe; CARPENELLA, Simone. Hydrogen Combustion: Features and Barriers to Its Exploitation in the Energy Transition. MDPI, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/20/7174>. Acesso em 03 de setembro de 2024.