



**COLÉGIO JOÃO PAULO I – UNIDADE SUL**  
**INTRODUÇÃO À METODOLOGIA CIENTÍFICA 2023**  
**TURMA: 9B**

**CARROS MOVIDOS A CÉLULA DE HIDROGÊNIO**

Aluno: Francisco Dal Ri  
Orientador: Giovani Mello

**Porto Alegre/RS**  
**2023**

2  
SUMÁRIO

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO                 | 3  |
| Justificativa                 | 4  |
| Objetivo                      | 4  |
| 2. METODOLOGIA                | 5  |
| 3. RESULTADOS                 | 6  |
| 4. CONCLUSÃO                  | 7  |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 9  |
| ANEXOS                        | 11 |

## 1. INTRODUÇÃO

Existem diversas tecnologias possíveis de veículos que tenham nenhuma ou pouca emissão de gases de efeito estufa. Entre eles, estão os carros elétricos, os veículos a célula de hidrogênio e os veículos de combustão de hidrogênio – cujo subproduto não inclui CO<sub>2</sub>. Entretanto, tanto as eficiências energética e térmica quanto a viabilidade econômica dos veículos elétricos dominam os demais. Isto não implica, contudo, que a substituição dos atuais veículos movidos a combustíveis fósseis seja simples (Vonbun, 2015).

As principais vantagens em se ter um automóvel movido a hidrogênio são o reabastecimento ágil e fácil e ótima autonomia. Já as desvantagens são, principalmente, se for "cinza", ou seja, se não for produzido usando fontes renováveis; o gás utilizado é difícil de manusear e menos vantajoso do que a energia elétrica para carros; seu custo é alto por causa da célula de hidrogênio ser absurdamente cara; tudo isso, então, torna esses veículos mais caros, chegando ao dobro dos carros elétricos convencionais.

Além disso, o sistema de abastecimento teria que ser totalmente refeito com o transporte de hidrogênio, armazenamento e a sua extração, o que demanda muita energia. Para transformar o hidrogênio em energia é preciso de uma célula que faz o processo inverso do que acontece na eletrólise que produz o hidrogênio, que então reage com o oxigênio para produzir eletricidade, deixando apenas o vapor de água como subproduto da reação (Pirelli & C. S.p.A., 2023).

Também há o hidrogênio natural, que é retirado do solo, tornando-se muito mais barato do que o artificial e já foi encontrado em pelo menos 4 estados brasileiros. O gás proveniente do solo é atualmente usado para gerar energia e iluminar parte do vilarejo de Bourakebougou, perto da capital Bamako, criando 100% da energia limpa numa área rural pobre que não tinha acesso à eletricidade (Prinzhofer, 2018).

Esses carros utilizam os motores elétricos para se movimentar, obtendo energia do hidrogênio. O hidrogênio verde (técnica de produção por meio da eletrólise, que separa o hidrogênio da água a partir de fontes de energia renováveis, como a solar ou a eólica) é o elemento químico mais leve do universo e é capaz de se ligar com outros átomos de hidrogênio, formando um gás que apresenta diversas

utilizações (Autor,2023), sendo produzido principalmente pela empresa White Martins que está presente no Brasil há mais de 110 anos.

No Japão, milhares de residências já utilizam células a combustível como geradores de eletricidade e calor. Nos EUA, o uso abrange empilhadeiras, sistemas de *backups* de energia, telecomunicações, drones e outras (WENDT et al., 2000; LINARDI, 2010;BARALDI et al., 2017).

### 1.1. Objetivo

O objetivo desta pesquisa é relacionar as eficiências de carros movidos a hidrogênio,carros totalmente elétricos e carros a combustão de gasolina.

### 1.2. Justificativa

A pesquisa sobre carros movidos a célula de hidrogênio é importante para buscar soluções mais sustentáveis de se gerar energia elétrica, que, principalmente neste caso, pode ser utilizada nos carros. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Brasil possui um grande potencial para desenvolver tecnologias de hidrogênio, principalmente da produção do gás a partir de fontes renováveis. Além disso, diversas empresas automotivas, como Toyota, Hyundai e Honda, já possuem modelos comerciais de carros movidos a célula de hidrogênio, demonstrando o avanço da tecnologia e o potencial de mercado, mas estes modelos de carros só estão disponíveis internacionalmente, por causa da infraestrutura dos postos do Brasil. A pesquisa sobre carros movidos a célula de hidrogênio pode contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas que incentivem a produção e o uso de veículos mais sustentáveis, além de estimular o avanço tecnológico e econômico no país.

## **2. METODOLOGIA**

Nessa pesquisa, a metodologia é bibliográfica, consultando em sites, livros, documentários e artigos científicos.

### 3. RESULTADOS

Apesar dos avanços atuais, ainda existem significativos desafios a serem superados em relação ao custo e à durabilidade para uma adoção plena da tecnologia de células a combustível do tipo PEMFC (Células de Combustível de Membrana de Troca de Prótons). Esta nomenclatura é devida à presença central de uma membrana polimérica que separa os eletrodos, permitindo a passagem seletiva de prótons (íons) enquanto bloqueia a corrente elétrica. Essa membrana, atuando como eletrólito, demonstra resistência à condução de corrente elétrica (Stefanelli, 2023).

Conforme apontado por Andrea (2017), o mercado ainda enfrenta obstáculos consideráveis. O Departamento de Energia dos Estados Unidos (U.S. DOE) estabelece que apenas quando o custo energético das células PEMFC atingir valores inferiores a \$40 por kilowatt (kW), a tecnologia terá capacidade de competir efetivamente com outras fontes energéticas. No presente momento, o custo energético é avaliado em \$53 por kW.

No contexto automotivo, para a viabilidade das células PEMFC em veículos, é necessário que alcancem a durabilidade e confiabilidade comparáveis aos motores de combustão interna empregados nos automóveis atuais. Isso implica em uma vida útil mínima de 5.000 horas de operação. Para aplicações estacionárias, a exigência aumenta, com uma vida útil de mais de 40.000 horas para competir com os sistemas de geração de energia atuais. Entretanto, as células PEMFC destinadas a veículos e aplicações estacionárias possuem tempos de vida atuais em torno de 3.900 e 30.000 horas, respectivamente (Yuan, 2011; Andrea, 2017).

Segundo o EV Data Base, um portal de comparação técnica de veículos elétricos globais, um veículo selecionado para análise apresenta um consumo de energia de 20,6 kWh a cada 100 quilômetros, incluindo perdas de carregamento. Em contraste, veículos tradicionais consomem, de acordo com o Inmetro, 7,14 litros de gasolina por 100 quilômetros em uso rodoviário. Considerando as informações da ANP, a gasolina do tipo A possui um poder calorífico de 10.400 kcal/kg e densidade de 0,742 kg/L, resultando em uma energia disponível de 7.717 kcal/L, equivalente a 8,97 kWh/L. Em outras palavras, um veículo a gasolina consome 64,04 kWh a cada 100 quilômetros (Faller e Junior, 2019).

Embora os motores de combustão interna tenham eficiência variando entre 12% e 30%, com novas tecnologias atingindo até 45% de eficiência, essa eficiência máxima é raramente alcançada nas condições de tráfego reais. Portanto, os motores elétricos possuem uma vantagem considerável em termos de eficiência energética (Faller e Junior, 2019).

No campo dos veículos movidos a hidrogênio, o Toyota Mirai estabeleceu um recorde, percorrendo 1.360 km com 5,65 kg de hidrogênio, emitindo apenas água pelo escapamento. Em contraste, um veículo a combustão convencional emitiria mais de 300 kg de CO<sub>2</sub> para percorrer a mesma distância (Moreno, 2021).

Atualmente, a eficiência energética do hidrogênio está em torno de 60% (DOE, 2000). O hidrogênio possui a maior densidade de energia por unidade de peso em comparação a qualquer outro combustível, devido à sua leveza e à ausência de átomos de carbono. Essa característica torna o hidrogênio fundamental em programas espaciais, nos quais o peso é crítico. Além disso, a quantidade de energia liberada durante a reação do hidrogênio é cerca de 2,5 vezes maior do que a obtida a partir da combustão de hidrocarbonetos como gasolina, diesel, metano e propano (Santos, 2005).

#### **4. CONCLUSÃO**

Em um mundo cada vez mais consciente das questões ambientais e energéticas, a busca por alternativas aos combustíveis fósseis tradicionais têm impulsionado o desenvolvimento de tecnologias inovadoras para a propulsão veicular. Neste estudo, exploramos a eficiência de três tipos distintos de veículos: elétricos, movidos a hidrogênio e a gasolina.

Ao analisar os resultados obtidos, fica claro que cada uma dessas opções de propulsão possui vantagens e desafios únicos em termos de eficiência energética e impacto ambiental. Os carros movidos a eletricidade, por exemplo, demonstram uma eficiência notável de conversão de energia, uma vez que a eletricidade pode ser produzida de maneira mais limpa e eficiente em comparação com a gasolina. Além disso, a recuperação de energia durante a desaceleração e a ausência de emissões locais durante a operação são fatores que impulsionam sua atratividade.

Por outro lado, os veículos movidos a hidrogênio enfrentam desafios significativos, como perdas energéticas ao longo da cadeia de produção, armazenamento e distribuição de hidrogênio. Apesar disso, a tecnologia de células de combustível mostra promessas para um futuro mais sustentável, especialmente quando se considera a possibilidade de produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis.

Os veículos a gasolina, embora tenham sido a escolha predominante nas últimas décadas, apresentam eficiência energética menor em comparação com as alternativas mais recentes. Além disso, suas emissões significativas de gases de efeito estufa e poluentes locais destacam a necessidade de uma transição para opções mais limpas e sustentáveis.

Concluindo, a pesquisa revela que não há uma única solução perfeita para a propulsão veicular, mas sim um espectro de tecnologias com vantagens e desafios distintos. A eficiência dos carros movidos a eletricidade, hidrogênio e gasolina depende não apenas das características intrínsecas de cada tecnologia, mas também da infraestrutura disponível, das fontes de energia utilizadas e das políticas de sustentabilidade adotadas. À medida que avançamos para um futuro de mobilidade mais verde, é essencial considerar todos esses fatores para tomar decisões informadas e impulsionar a inovação em direção a um sistema de transporte mais eficiente e ambientalmente amigável.



## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Energia Elétrica. Hidrogênio: oportunidades e desafios na transição para a economia de baixo carbono. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/estudos-e-conhecimento/hidrogenio-oportunidades-e-desafios-na-transicao-para-a-economia-de-baixo-carbono> Acesso em 6 de abril de 2023

Célula a Combustível PEMFC energia elétrica do hidrogênio, Eduardo J. Stefanelli 2023, Disponível em: <https://www.stefanelli.eng.br/pemfc-energia-eletrica-hidrogenio/> Acesso em: 24 de agosto de 2023

DIAS, Diogo Lopes. "Hidrogênio"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/hidrogenio.htm>. Acesso em 10 de abril de 2023.

FERREIRA, Paulo Fabrício Palhavan. Análise da viabilidade de sistemas de armazenamento de energia elétrica na forma de hidrogênio utilizando células a combustível. 2003. 100p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1609012>. Acesso em: 10 ago. 2023.

Pirelli & C. S.p.A. HIDROGÊNIO COMO COMBUSTÍVEL: PRÓS E CONTRAS Disponível em: <https://www.pirelli.com/global/pt-br/road/carros/hidrogenio-como-combustivel-pros-e-contras-57438/> Acessado em 21 de agosto de 2023

PRINZHOFER, Alain. Hidrogênio Natural. Disponível em: <https://coppe.ufrj.br/planeta-coppe/hidrogenio-natural-e-descoberto-em-quatro-estados-brasileiros/> acessado em 21 de agosto de 2023.

Toyota Mirai bate recorde ao rodar 1.360 km sem “reabastecer” Uol, 2021 - Leia mais em: <https://autopapo.uol.com.br/curta/toyota-mirai-bate-recorde/> Acessado em: 24 de agosto de 2023

VONBUN, Christian. Impactos ambientais e econômicos dos veículos elétricos e híbridos plug-in: uma revisão da literatura. 2015. Acessado em 21 de agosto de 2023

ROBALINHO, Eric; DOS SANTOS, Karolaine Aguiar. Célula a combustível tipo PEMFC: energia renovável e eficiente. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 13, n. 3, 2021.

SANTOS, Fernando Miguel e Fernando Antônio. Energias renováveis

WENDT, H.; GOTZ, M.; LINARDI, M. Fuel cell technology, *Química Nova*, v.23, p.538-546, 2000

YUAN, X. Z. et al. A review of polymer electrolyte membrane fuel cell durability test protocols. *Journal of Power Sources*, v. 196, n. 22, p. 9107–9116, 2011.

## **ANEXOS**

Inserir informações que achar necessário, e que não merecem mérito de estarem inseridas no corpo do trabalho.