

HIDROGÊNIO: COMBUSTÍVEL DO FUTURO?

Maria Fernanda Borges Araújo¹

Saulo José Ramos de Oliveira²

Gabriel Silva Meneses Barros³

Arthur Silvestre Rodrigues Marques⁴

Diego Faro Alves⁵

Engenharia Mecatônica



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

RESUMO

Desde a revolução industrial, a humanidade encontra-se em um cenário de extrema dependência de combustíveis fósseis. São usados em fábricas, em transporte para os humanos, e fabricação de diversos tipos de materiais, como por exemplo, o plástico. Ao utilizar estes tipos de combustíveis para queima, o planeta Terra está cada vez mais perto de colapsar, devido à alta produção de gases que poluem a atmosfera, fazendo com que o Efeito Estufa piore e aumente cada vez mais a temperatura do mundo. Neste contexto, a humanidade se encontra numa situação na qual é impossível fingir que estes problemas não estão acontecendo. E é por isso que pesquisadores buscam formas de substituir esses combustíveis fósseis (que não são renováveis e poluem o meio ambiente) por energia limpa e renovável. Uma das opções consideradas como substituto de combustíveis fósseis seria o hidrogênio. O presente artigo científico contempla a análise da viabilidade da inserção do hidrogênio como alternativa limpa para substituir os combustíveis poluentes, a partir de referenciais bibliográficos que se encontram no âmbito de tecnologia, aplicabilidade e demais impactos e consequências que seriam gerados caso tal substituição ocorra no futuro.

PALAVRAS-CHAVE

Hidrogênio, Combustível, Eletrólise, Aplicabilidade.

ABSTRACT

Since the industrial revolution, humanity has been in a scenario of extreme dependence on fossil fuels. They are used in factories, in transporting humans, and in the manufacture of different types of materials, such as plastic. When using these types of fuels for burning, planet Earth is getting closer and closer to collapsing, due to the high production of gases that pollute the atmosphere, causing the Greenhouse Effect to worsen and the temperature of the world to increase more and more. In this context, humanity finds itself in a situation in which it is impossible to pretend that these problems are not happening. And that's why researchers are looking for ways to replace these fossil fuels (which are non-renewable and pollute the environment) with clean, renewable energy. One of the options considered as a substitute for fossil fuels would be hydrogen. This scientific article contemplates the analysis of the feasibility of inserting hydrogen as a clean alternative to replace polluting fuels, based on bibliographic references that are within the scope of technology, applicability and other impacts and consequences that would be generated if such replacement occurs in the future.

KEYWORDS

Hydrogen, Fuel, Electrolysis, Applicability.

1 INTRODUÇÃO

O nosso planeta se encontra em uma situação extremamente delicada. O aquecimento global piora a cada dia que passa, derretendo geleiras, causando mudanças drásticas de clima, dentre outros problemas ambientais. O maior responsável pela mudança de temperatura no planeta é o combustível fóssil. Então, é necessário que haja uma alternativa viável para a substituição da gasolina e do petróleo e um desses candidatos seria o gás hidrogênio.

Altamente reativo e leve, o composto gasoso seria "perfeito demais" para o uso de deslocamento de veículos e para o uso industrial. Inclusive, o gás hidrogênio já é utilizado em foguetes e tecnologias espaciais, e um dos motivos para isso seria porque "[...] o hidrogênio tem a mais alta energia por unidade de peso comparativamente com qualquer combustível, uma vez que o hidrogênio é o elemento mais leve e não tem pesados átomos do carbono" (CRIZOL, 2020).

Entretanto, a implementação desse combustível apresenta alguns obstáculos. Por exemplo: para manter o combustível armazenado adequadamente e realizar eletrólise na água, muito capital precisa ser investido, o que pode acarretar o encarecimento do produto e dificuldade na comercialização.

2 HIDROGÊNIO

O hidrogênio é o elemento mais abundante no Universo e o mais leve, sendo também o mais simples da tabela periódica de Mendeleiev. Localizado na família 1 da tabela periódica, na sua forma fundamental, possui apenas um elétron que orbita o seu núcleo.

O hidrogênio normalmente existe combinado com outros elementos, como o oxigênio na água e o carbono no metano. Como é quimicamente muito ativo, raramente permanece elementarmente puro (LEPECKI, 2011).

A molécula de água é composta por 2 átomos de hidrogênio e 1 átomo de oxigênio. A água apresenta propriedades bem peculiares, como por exemplo, a tensão superficial. Outra propriedade é que esse líquido é caracterizado como um solvente universal.

A molécula do hidrogênio apresenta temperaturas de fusão e ebulição muito baixas o que justifica o seu estado gasoso na temperatura ambiente. A propriedade mais interessante a ser estudada é o seu poder de combustão. Essa substância química é capaz de queimar da mesma forma que se queima Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), e a chama pode atingir a temperatura de 2.400°C, ultrapassando a temperatura do gás natural e da gasolina ao sofrerem combustão.

A quantidade de energia liberada durante a reação do hidrogênio é cerca de 2,5 vezes do poder de combustão de um hidrocarboneto (gasolina, gásóleo, metano, propano etc.) (SANTOS; SANTOS, 2005). Apesar de ser o elemento mais abundante no universo, o hidrogênio na forma de gás existente em nosso planeta tem a massa equivalente a aproximadamente 0,88% do peso da terra, mas existe a possibilidade de realizar eletrólise na água, gerando como produto H_2 e O_2 .

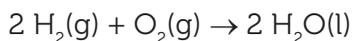
O processo de eletrólise consiste na separação de compostos químicos usando a eletricidade. Esse processo ocorre de forma não espontânea, ou seja, não pode ser observado pela natureza.



A forma mais utilizada no mundo para a produção de hidrogênio em escala industrial é a reforma do vapor, que faz uso da energia térmica para realizar a separação do carbono e do hidrogênio, contido no metano, ou metanol.

2.1 COMBUSTÃO DO HIDROGÊNIO

Outro aspecto que deve ser observado é o produto de combustão do combustível Hidrogênio. A reação de combustão é representada por:



Desta reação o produto obtido é água na forma líquida. A partir disso, é possível analisar que, a queima de gás hidrogênio não libera gases poluentes como, por exem-

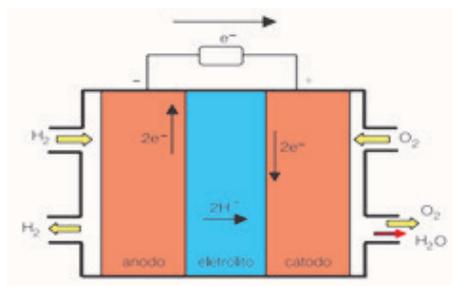
plo, monóxido de carbono (CO), também o produto gerado dessa reação, é justamente a matéria prima utilizada para a extração do combustível.

2.2 CÉLULAS DE HIDROGÊNIO

A célula de combustível é um dispositivo capaz de transformar a energia química produzida pelas reações em energia elétrica, desde que haja um combustível (hidrogênio) e um oxidante (oxigênio).

A célula funciona da seguinte forma: Ligados a uma bateria, os dois eletrodos (anodo e catodo) farão a separação dos íons, enquanto o eletrólito atua como a uma "ponte" por onde esses íons atravessam (FIGURA 1).

Figura 1 – Esquemática de uma célula de combustível



Fonte: Alves (2012).

No entanto, apenas uma célula de combustível é insuficiente para produzir uma quantidade significativa de energia. Por isso, uma pilha de combustível é constituída por uma associação em série de células de combustível, uma vez que cada célula individual produz apenas uma tensão aproximada de 0,8 V (SANTOS; SANTOS, 2005) e essa funcionalidade faz que haja a capacidade de se criar pilhas para diferentes usos, seja para uso de máquinas pequenas, até máquinas de grande porte.

As células podem ser classificadas em dois tipos: a que tem alta temperatura de funcionamento e a que tem baixa e média temperatura de funcionamento, mas também existem células que não se encaixam nessas classificações pelo motivo de terem características híbridas. As células de baixa e média temperatura podem gerar potências de 250 kW e chegam a temperaturas de 250°C, enquanto as pilhas de alta temperatura podem chegar à potência de 2MW, com temperaturas maiores que 600°C.

3 ARMAZENAMENTO

Para que seu uso aconteça com segurança, os sistemas de armazenamento precisam ser evoluídos, sendo mais práticos para automóveis. Mesmo que ele possa ser estocado em forma líquida, esse processo requer muita energia, cerca de 25 a 30% de sua energia, pois o hidrogênio tem que ser resfriado até -253°C e exige materiais

e manipulação especiais. Para o resfriamento de 0,5 kg de hidrogênio é necessário cerca de 5 kWh de energia elétrica, por isso, o ideal seria estocar o hidrogênio em forma de gás, pois utiliza menos energia. Para ser armazenado em estado gasoso, ele precisa ser pressurizado, assim, conseguindo, pelo menos, uma quantidade razoável.

Um método bem mais eficiente de armazenamento é na forma de hidretos. Certas ligas metálicas como as de magnésio – níquel, magnésio – cobre e ferro – titânio absorvem hidrogênio e quando aquecidos o liberam. No entanto, os hidretos armazenam pouca energia por unidade de massa.

3.1 PERIGOS DE ARMAZENAMENTO

Quando ele entra em contato com o flúor e com o cloro, mas em especial com o flúor, a reação torna-se tão rápida e tão imprevisível e, conseqüentemente, incontrollável, reagindo violentamente. A sua despressurização acontece rapidamente, podendo provocar até inflamação, visto que a sua expansão ser acima de -40°C , podendo ocorrer até um aquecimento. Todas as suas características o colocam num patamar de utilização como combustível bastante privilegiado, mas, essas mesmas características trazem alguns perigos ao ser humano, devido à extrema sensibilidade para se detonar. Para sua utilização em público, o hidrogênio teria que ser manuseado semelhantemente à forma que os combustíveis normais são manuseados, sem nenhum risco. As propriedades físicas relevantes para a segurança do hidrogênio são comparadas com as da gasolina, gás de petróleo liquefeito (GPL), e o metano.

3.2 DEMAIS USOS

O hidrogênio pode ser usado de outras formas e em outros setores além de transportes. Este já começou a ser utilizado em grande escala desde o século XIX, onde, desde essa época, já foi visto que ele tinha um grande potencial, no entanto, no desastre do zeppelin “Hindenburg” em 1937 novas precauções para larga escala de utilização foram tomadas.

A agência espacial dos EUA (NASA) usa o hidrogênio em seus projetos espaciais, abastecendo seus foguetes, pois estes exigem características não adquiridas com outros combustíveis, tais como: o baixo peso, a capacidade de compactação e grande armazenamento de energia. Quando utilizado em células, a água que resulta do processo é consumida pelos astronautas.

A maioria do hidrogênio que é produzido no mundo é utilizado como matéria-prima na fabricação de produtos, como fertilizantes, conversão de óleo líquido em margarina, fabricação de plásticos e arrefecimento de geradores e motores devido à sua elevada condutibilidade térmica.

Quantidades elevadas de hidrogênio são utilizadas no processo “Harber” para a produção de amônia, o quinto composto mais produzido no mundo industrial, e na produção de ácido clorídrico (HCl).

Alguns automóveis do mercado já foram desenvolvidos para utilizar o hidrogênio, sua queima é 50% de eficiência a mais que a gasolina e, ainda que a queima gere alguns óxidos de nitrogênio (NOx), gera menos poluentes que a queima dos combustíveis fósseis (petróleo, carvão).

Pesquisas sobre hidrogênio estão concentradas na geração de energia elétrica, térmica e de água pura por meio das células a combustível. Futuramente, o hidrogênio pode fornecer eletricidade e combustível para os setores residencial, comercial, industrial e de transporte, criando uma economia energética.

4 IMPACTOS GERAIS

4.1 IMPACTOS AMBIENTAIS DA CÉLULA DE HIDROGÊNIO

Uma célula de combustível é semelhante a uma bateria em alguns aspectos. No entanto, quando a bateria armazena energia, a célula a combustível gera sua própria energia. Ele usa uma fonte de combustível – neste caso, hidrogênio – para reagir quimicamente com o oxigênio do ar para gerar uma carga elétrica. Essa eletricidade pode então ser usada para alimentar máquinas ou, no caso de veículos de consumo, para alimentar diretamente o trem de força ou para complementar baterias recarregáveis e, em seguida, alimentá-las. Ao contrário das alternativas de combustão, o desperdício desse processo é apenas uma pequena quantidade de calor e água (H₂O). Portanto, é uma tecnologia de emissão zero.

4.1.1 Benefício da Célula de Hidrogênio

Além de emissões zero, o hidrogênio é um combustível sustentável em comparação com as alternativas aos combustíveis fósseis. Muitas usinas de hidrogênio funcionam com energia solar ou eólica e usam eletrólise para extrair hidrogênio da água – até mesmo da água do mar. A pegada de carbono desse método é muito baixa e o único gás liberado no ar durante o processo de fabricação é o oxigênio. O hidrogênio puro produzido desta forma é muito adequado para uso em baixas temperaturas, como em células a combustível automotivas.

Outra vantagem da tecnologia de células de combustível sobre outros concorrentes de baixa emissão ou emissão zero é que as baterias podem gerar muita energia para dispositivos relativamente pequenos. Isso significa que os carros que usam hidrogênio como fonte de combustível devem ser capazes de viajar distâncias mais longas do que os carros totalmente elétricos.

4.1.2 Dificuldades da Célula de Hidrogênio

No entanto, embora haja vitórias óbvias no uso do hidrogênio como tipo de combustível para carros, há uma barreira particular que está impedindo os fabrican-

tes de produzir veículos movidos a hidrogênio no mercado de massa no momento: acessibilidade. Infelizmente, a infraestrutura não está pronta para dar suporte a carros de consumo em grande escala. Há uma nítida falta de pontos de reabastecimento.

Outra barreira possível é a segurança. O hidrogênio é um gás altamente inflamável, seu transporte e a instalação de soluções de armazenamento seguros são empreendimentos caros – pelo menos inicialmente. Há vantagens no fato de que não é tóxico, ao contrário da gasolina e do diesel, e se dissipa rapidamente, mas precisa ser manuseado com cuidado, o que requer equipamentos especializados que a grande maioria dos postos de combustível convencionais não suportam atualmente.

4.1.3 O Programa Brasileiro de Célula a Combustível e Hidrogênio

O Programa Brasileiro de Hidrogênio e Sistemas Células a Combustível (inicialmente denominado PROCAC) foi elaborado em 2002 pelo Ministério da Ciência e da Tecnologia (MCT), com a participação de universidades, centros de pesquisa e empresas brasileiras com o objetivo de promover ações integradas e cooperadas, que viabilizem o desenvolvimento nacional da tecnologia de hidrogênio e de sistemas célula a combustível, habilitando o país a se tornar um produtor internacionalmente competitivo nesta área. Com ele, pretende-se ainda apoiar o estabelecimento de indústria nacional para produção e fornecimento de sistemas energéticos com células a combustível (LINARD, 2008).

Entre os vários desafios identificados, além do desenvolvimento da tecnologia das células, estão a produção, o armazenamento e a distribuição do hidrogênio, a capacitação de recursos humanos, regulação quanto à segurança e padronização e necessidade de parcerias entre instituições do governo, setor industrial, setor de serviços, ONG etc. Em 2005 o PROCAC passou a ter nova denominação, passando a se chamar Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio, com a sigla PROH2 (LINARD, 2008).

O programa é estruturado por meio da formação de redes de pesquisa e desenvolvimento abrangendo todo o território nacional. Nesse sentido, o programa garante o uso mais racional dos recursos investidos e antecipa o alcance dos objetivos (LINARD, 2008).

Devido a vários fatores, como o desenvolvimento de novos materiais e a crescente demanda por energia limpa e eficiente, a tecnologia de células de combustível se desenvolveu nos últimos 40 anos. Como tecnologia madura e comercializável, pode-se citar o *Phosphoric Acid Battery System* (PAFC) da Tempo Universal Coordenado (UTC). No entanto, somente quando outros concorrentes oferecem sistemas semelhantes no mercado, podemos falar sobre o verdadeiro sucesso econômico. A perspectiva de baterias de alta temperatura operacional é certamente promissora, mas ainda não há oferta em larga escala desse tipo de sistema no mercado. A tecnologia de bateria PEMFC não é apenas adequada para aplicações em veículos, mas também para dispositivos fixos de pequeno e médio porte (residências, hospitais etc.) e aplicativos portáteis (laptops e telefones celulares).

O Brasil está formulando um roteiro de “economia do hidrogênio” e estabeleceu um plano nacional de pesquisa e desenvolvimento para células a combustível e tecnologia de hidrogênio. Atualmente, várias instituições brasileiras atuam na área de pesquisa e desenvolvimento e diversos projetos estão em andamento. A nova empresa lançou produtos adequados para esta nova tecnologia (Electrocell, Unitech, Novocell etc.). O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) tem desempenhado um papel importante no cenário nacional de desenvolvimento desta tecnologia.

A cidade de São Paulo não precisa esperar muito para ver ônibus movidos a baterias de energia circularem por suas ruas. As Nações Unidas e o governo brasileiro assinaram um ambicioso projeto ambiental por meio do Ministério de Minas e Energia. O projeto visa a utilização de vários ônibus movidos a hidrogênio na cidade de São Paulo e a utilização de tração elétrica PEMFC no transporte público.

4.2 IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS

O hidrogênio está prestes a mudar a nossa realidade. Desde o abastecimento de automóveis até ao aquecimento de casas, estamos a caminhar para uma sociedade baseada no hidrogênio. Ao contrário de outras fontes de energia, esta produz apenas água e é fácil de armazenar e transportar em grandes quantidades. São necessários sistemas sustentáveis para substituir os combustíveis fósseis que estão a ter um efeito negativo no nosso ambiente. O hidrogênio promete ter o maior impacto na descarbonização, sendo uma alternativa segura que nos aproxima de uma sociedade mais limpa (A Sociedade do Hidrogênio, sd).

O hidrogênio oferece grande potencial para ajudar a tornar o setor de energia mais verde e diversificar a economia mundial. No entanto, o desenvolvimento da tecnologia precisa de ser apoiado por políticas específicas e uma maior cooperação entre os governos e a indústria para garantir que todos possam se beneficiar dela.

De acordo com a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO), o hidrogênio é a substância química mais abundante no universo e o seu potencial reside no facto de poder ser armazenado. Segundo o representante, este tipo de inovação “pode melhorar vidas, fortalecer negócios e ajudar a enfrentar grandes desafios globais, como a mudança climática” (ONU, 2019).

Os avanços atuais na produção de hidrogênio, por meio de eletrólise e tecnologias relacionadas, oferecem soluções holísticas para reduzir as emissões globais de dióxido de carbono. A ONU considera que a transição para sociedades de hidrogênio representa uma verdadeira mudança de paradigma na área de armazenamento de energia, mais eficiente, especialmente para energia renovável em escala industrial (ONU, 2019).

A agência destaca ainda que à medida que a tecnologia avança nessa área, o enquadramento político e regulatório não tem acompanhado esta evolução. Por isso, considera que é necessária uma parceria contínua entre o governo, a indústria e a academia.

5 CONCLUSÃO

Em suma, como conclusão do raciocínio que foi apresentado neste artigo, a inserção do hidrogênio como combustível comum seria viável, e a maior dificuldade está presente em problemas logísticos, no quesito de transporte e segurança do produto. As células de energia apresentam diversos benefícios e com certeza afetará positivamente a atmosfera do nosso planeta.

O que seria necessário no momento para que tal substituição comece a ocorrer seria um investimento significativo na área de pesquisa para que seja possível encontrar formas de baratear o custo desse combustível, sem contar que carros movidos a hidrogênio ainda estão em fase inicial de desenvolvimento, mas em um futuro próximo, tal tecnologia possa ser acessível para pessoas comuns, no entanto, até essa tecnologia chegar a um custo razoável, a humanidade precisa continuar com formas alternativas de se evitar a produção de gases poluentes.

REFERÊNCIAS

A SOCIEDADE do Hidrogênio. Disponível em: <https://www.toyota.pt/veiculos-a-hidrogenio/sociedade-do-hidrogenio.json>. Acesso em: 1 jul. 2021.

CRIZOL, André A. Z. Gerador de Hidrogênio: construção, vantagens e aplicações no motor à combustão. 2020. Trabalho de Conclusão (Graduação Curso de Engenharia Mecânica) – Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, 2020. Disponível em: [http://repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/1496/1/TCC - André Adrid Zanatelle Crizol- Revisão Final \(1\).pdf](http://repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/1496/1/TCC - André Adrid Zanatelle Crizol- Revisão Final (1).pdf). Acesso em: 28 maio 2021.

JANAÍNA, Alves. **O que é célula a combustível?** São Paulo, 28 out 2012. Disponível em: <http://www.usp.br/portalbiossistemas/?p=4316>. Acesso em: 20 mar. 2021.

LEPECKI, W. **A energia nuclear e a economia do hidrogênio, Parte I.** INEE, jan. 2011. Disponível em: http://www.inee.org.br/down_loads/eficiencia/Economia_Hidrogenio_Lepecki.pdf Acesso em: 28 mar, 2021.

LINARD, Marcelo. **Hidrogênio e células a combustível.** Mar. 2008. Disponível em: https://ecen.com/eee66/eee66p/hidrogenio_e_celulas_a_combustivel.htm. Acesso em: 6 jun. 2021.

ONU, News. **ONU defende utilização do hidrogênio para reduzir energias poluentes.** 23 abr. 2019. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/04/1669171>. Acesso em: 5 jun. 2021.

SANTOS, Fernando M.; SANTOS, Fernando A. Combustível "hidrogênio". **Revista Millenium**, n. 31, maio 2005. Disponível em: <https://repositorio.ipv.pt/handle/10400.19/435>. Acesso em: 28 mar. 2021.

Data do recebimento: 21 de maio de 2021

Data da avaliação: 9 de julho de 2021

Data de aceite: 9 de julho de 2021

1 Acadêmica do curso de Engenharia Mecatrônica. E-mail: maria.fborges@souunit.com.br

2 Acadêmico do curso de Engenharia Mecatrônica. E-mail: saulo.jramos@souunit.com.br

3 Acadêmico do curso de Engenharia Mecatrônica. E-mail: gabriel.meneses@souunit.com.br

4 Acadêmico do curso de Engenharia Mecatrônica. E-mail: arthur.silvestre@souunit.com.br

5 Mestre; Professor. E-mail: diego.faro@souunit.com.br