

BUSCA POR NOVAS MATRIZES ENERGÉTICAS: CÉLULAS A COMBUSTÍVEL

Daiane Gonçalves Alves

Graduanda em Engenharia Química,
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Felipe Yuji Shitara Shinkae

Graduando em Engenharia Química,
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Grasielle Aparecida Pereira dos Santos

Graduanda em Engenharia Química,
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Ingrid Ferreira Bartolomeu

Graduanda em Engenharia Química,
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Ricardo da Silva Ferreira Júnior

Doutor em Química – UFMS; Docente da Faculdade Estácio de Sá;
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

RESUMO

A crescente demanda energética credencia o desenvolvimento de novas tecnologias para a produção de energia limpa e segura, a exemplo das células a combustível, dispositivos conversores de energia química em elétrica. Este artigo é uma contextualização dos principais tipos e aplicações das células a combustível. A partir do levantamento bibliográfico realizado, constatou-se que estes conversores apresentam tecnologia adequada para aplicação em diversos dispositivos e que sua aplicação em veículos deve atingir números extremamente significativos a partir de 2020.

PALAVRAS-CHAVE: células a combustível, PEMFC, hidrogênio, oxirredução.

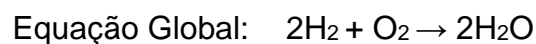
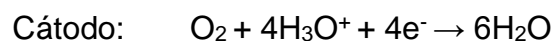
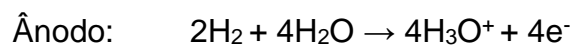
1 INTRODUÇÃO

A busca por novas matrizes sustentáveis energéticas vem sendo cada vez mais procurada por indústrias no mundo devido aos impactos ambientais que outros tipos de matrizes causam em nosso planeta. O Brasil destaca-se mundialmente no termo de sustentabilidade, pois participam de várias fontes renováveis de energia como a de célula a combustível (AMBIENTE ENERGIA, 2011).

A célula a combustível destaca-se por gerar energia elétrica limpa através de reações eletroquímicas que utilizam geralmente o hidrogênio, sendo assim, possui uma forte vantagem nas demais fontes energéticas, pois, sua produção não provoca

ruídos, combustão e gases estufa. Outra vantagem de obter energia por esse meio é a grande eficiência em comparação aos motores de combustão. Observa-se que o motor a combustão é 43% mais alto na parte teórica e vinte a trinta por cento na parte prática (STEFANELLI, 2011).

Entende-se que a célula combustível são aparelhos transformadores de energia química em energia elétrica e térmica, sua conversão eletroquímica se baseia na combinação de um átomo de oxigênio e dois átomos de hidrogênio. Esta conversão ocorre por meio de duas reações químicas parciais em dois eletrodos porosos revestidos por platina ou níquel, e separados por um eletrólito apropriado de material impermeável, que permite o movimento dos íons positivos entre os eletrodos. Em alguns casos, são usados eletrólitos líquidos ou sólidos, por exemplo, a membrana plástica de troca e condução de prótons. Sendo assim, o funcionamento é através de um ânodo onde o hidrogênio é forçado a passar pelo eletrodo ocorrendo à oxidação e a liberação dos elétrons gerando energia corrente elétrica. Os prótons são conduzidos através do eletrólito até o catodo onde se juntaram novamente (redução) aos elétrons livres e ao oxigênio, formando água como produto (AMBIENTE ENERGIA, 2011), (ALBADÓ, 2004).



Em nível mundial, os pioneiros a utilizarem essa tecnologia são Japão, Canadá e Estados Unidos. Esses países utilizam a célula combustível em aplicações em motores e aplicação estacionária em prédios e residências. Várias comunidades no Canadá, Alemanha, Espanha, China, Austrália, EUA, Japão, entre outros países, já utilizam ônibus movidos por células a combustível (GOMES NETO, 2005; PORTAL ENERGIAS, 2008). O Quadro 1 apresenta os destaques dos vários tipos de células combustíveis.

A PEMFC é aplicada em veículos elétricos ou híbridos como adicional às baterias, e também em pequenos prédios comerciais e residenciais. A vantagem é de alta densidade de operação flexível e as desvantagens são a contaminação do catalisador com CO e o alto custo da membrana de potência e eficiência. Para ter uma elevada eficiência, a membrana deve possuir: alta condutividade protônica para

suportar altas correntes com menos perda de resistência possível, condutividade eletrônica que tenda a zero, adequada resistência mecânica e estabilidade; estabilidade química e eletroquímica nas condições de operação; controle da umidade; mínima permeabilidade ao combustível ou ao oxigênio para maximizar a eficiência coulômbica; e custo de produção compatível com a aplicação pretendida (WENDT et al., 2000; AROEIRA, 2017).

Quadro 1. Destaque dos vários tipos de células combustíveis.

<p>PEMFC</p> <ul style="list-style-type: none"> • Células a Combustível com membrana de permuta protônica • Eletrólito: membrana de permuta iônica • Temperatura de Funcionamento: 100° C 	<p>AFC</p> <ul style="list-style-type: none"> • Células a combustível alcalina • Eletrólito: solução concentrada de KOH (85% peso) <p>Temperatura de funcionamento: ≈250°C</p>	<p>PAFC</p> <ul style="list-style-type: none"> • Células a combustível ácido fosfórica • Eletrólito: ácido fosfórico ≈100% <p>Temperatura de funcionamento: 160°C– 220°C</p>
<p>MCFC</p> <ul style="list-style-type: none"> • Células a combustível de carbonato fundido • Eletrólito: combinação de Na, K, Li. <p>Temperatura de funcionamento: 600°C – 700°C</p>	<p>SOFC</p> <ul style="list-style-type: none"> • Células a combustível de óxido sólido • Eletrólito: combinação de Na, K, Li. <p>Temperatura de funcionamento: 600°C – 100°C</p>	<p>Tabela 1 comparativo entre os tipos de células a combustível</p>

Fonte: Elaborado pelos autores.

A AFC é aplicada em espaçonaves e aplicações militares. A vantagem é a alta eficiência de oitenta e três por cento teórico e as desvantagens são os gases ultra puros sem a reforma do combustível e a sensibilidade de dióxido de carbono (WENDT et al., 2000).

A PAFC é aplicada em unidades estacionárias comuns, unidades estacionárias de cem quilowatts e alguns megawatts e cogeração de eletricidade ou calor. A vantagem é o maior desenvolvimento tecnológico e as desvantagens são o controle da porosidade do eletrodo, sensibilidade do dióxido de carbono e a eficiência limitada pela corrosão (WENDT et al., 2000).

A MCFC é aplicada em unidades estacionárias de algumas centenas de quilowatts e cogeração de eletricidade ou calor. As vantagens são a tolerância a monóxido e dióxido de carbono e eletrodos com base de níquel. As desvantagens são os problemas de materiais, necessidade da reciclagem de dióxido de carbono e a interface trifásica de difícil controle (WENDT et al., 2000).

A SOFC é aplicada em unidades de dez a algumas centenas de quilowatts e a cogeração de eletricidade ou calor. As vantagens são a alta eficiência (cinética

favorável) e a reforma do combustível pode ser feita na célula. As desvantagens são problemas de materiais, expansão térmica e a necessidade de pré-reforma (WENDT et al., 2000).

2 OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo apresentar os tipos de células estudadas, avaliar células a combustíveis PEM (célula a combustível com membrana de permuta protônica) nos motores dos automóveis.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste artigo foi realizada uma revisão de literatura almejando contribuir para uma visão sintética sobre o tema dissertado. Os textos mais significativos estão dispostos no tópico referências e discutidos a seguir.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos automóveis com funcionamento com base nas células combustíveis, a função do sistema é como a de uma bateria recarregável que ao invés de armazenar energia ela produz a mesma por um processo eletroquímico, assim funciona enquanto for alimentada de hidrogênio e oxigênio (ASHLEY, 2017).

Ao utilizar o hidrogênio puro, a célula a combustível produz apenas água e calor como produtos, sendo assim, um processo limpo do ponto de vista ambiental. Sua simplicidade no princípio de funcionamento, inibi movimentos mecânicos no interior desta e com a conversão direta de energia (AROEIRA, 2017).

Um automóvel médio necessita de aproximadamente de trinta litros de gasolina para percorrer quatrocentos quilômetros, com a célula PEM (células de combustível com membrana de permuta protônica) são necessários apenas quatro quilos de hidrogênio. Resultando assim na eficiência teórica do processo de conversão de energia química em elétrica, podendo chegar perto de cem por cento em uma célula combustível (dos SANTOS, 2009).

Devido à dificuldade de obtenção, armazenamento e distribuição de hidrogênio puro, o mais usual seria célula combustível que possuem reformadores

de hidrocarbonetos (álcool, gás natural e metano), porém esses sistemas produzem gases indesejáveis como o dióxido de carbono, em menores quantidades de outra fonte convencional (LINARDI, 2010).

Muitos fabricantes de diversos países estão colocando em exposição veículos movidos a células a combustível, devido ao alto desempenho do sistema. Nesses veículos estão utilizando combustíveis líquidos com metanol e etanol reformando as moléculas para liberar hidrogênio. Essas moléculas são usadas como fonte para gerar energia no motor, liberando menos gases prejudiciais ao meio ambiente e gerando mais potência do motor. Com esse sistema o motor libera apenas o vapor de água (ASHLEY, 2017)

Atualmente a Nissan Motors anunciou que está desenvolvendo veículo movido a célula combustível (FCV) a sua tecnologia se baseará em etanol como fonte de hidrogênio, que será convertida em eletricidade e que pode ser uma tecnologia mais barata (REUTERS, 2016).

4.1 PEMFC – Célula a Combustível de Membrana Polimérica Condutora de Prótons

A célula PEMFC foi desenvolvida nos anos 1960 e 1970, principalmente, pelas empresas GE e Siemens, custando na época, US\$ 100.000,00 por KW instalado. A empresa Ballard foi a primeira a demonstrar que a PEMFC poderia ser economicamente viável (LINARDI, 2010).

A célula PEMFC caracteriza-se por: (i) pertencer à classe de célula a combustível de baixa temperatura de operação entre 60° a 90°C; (ii) ser flexível em aplicações para usos portáteis com alimentação com alcoóis; estacionária, na faixa de potencia elétrica de alguns W até centenas de KW, principalmente automotivas de 70KW para carros e 250KW para ônibus; (iii) apresentar eficiências elétricas de sistema da ordem de 50%; (iv) utilizar grafite ou compósitos a base de carbono como placas bipolares; (v) utilizar eletrodos de difusão gasosa com platina, tanto no ânodo como cátodo e (vi) utilizar um tecido de carbono parcialmente teflonado como camada difusora. (LINARDI, 2010)

As células PEM (membrana permuta protônica), são as mais promissoras como opções para motores a combustão, por serem robustas e de fácil acionamento e desligamento. Funcionando simultaneamente como eletrólito para transporte de carga elétrica e como barreira para impedir a mistura do combustível hidrogênio com

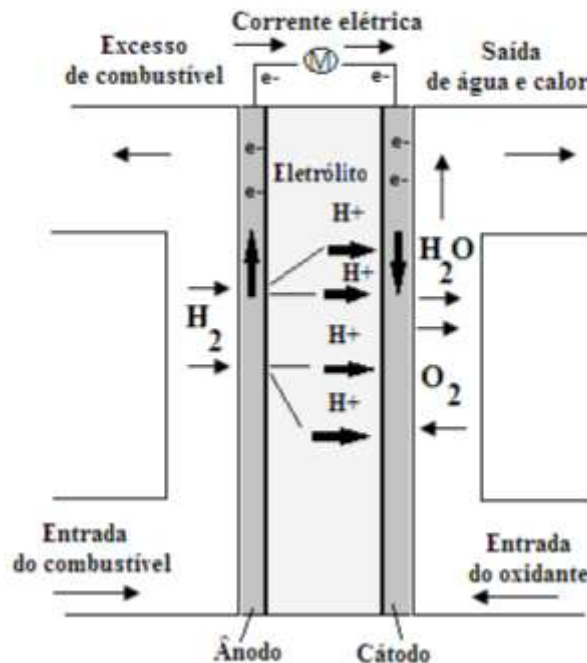
o oxigênio. A eletricidade fornecida para a potência do carro com célula a combustível é produzida quando os elétrons são retirados de átomos de hidrogênio nas áreas catalisadores da superfície da membrana. Os prótons os íons de H^+ deslocam através da membrana combinando-se com oxigênio e um elétron produzindo água (ASHLEY, 2017).

Neste processo produz até 55% da energia do combustível em força mecânica, já nos motores de combustão interna sua eficiência de 30% (ASHLEY, 2017).

As vantagens deste tipo de célula são: (i) maiores densidades de potencia do que os outros tipos de célula a combustível; (ii) menor relação massa/volume; (iii) eletrólito sólido hidratado e (iv) fácil liga/desliga e robustas (LINARDI, 2010). As desvantagens são: custos; sensibilidade a CO e necessidade de gerenciamento de água da membrana (LINARDI, 2010).

A Figura 1 apresenta funcionamento da célula a combustível PEMFC com H^+ .

Figura 1. Diagrama simplificado de operação de uma célula a combustível tipo PEMFC.



Fonte: Adaptado de LINARDI, 2010.

O hidrogênio (H_2) é fornecido a partir de uma corrente de fluxo de gás para o ânodo, onde reage eletroquimicamente, sendo oxidado para produzir íons H^+ e

elétrons, como mostrado na Figura 1, de acordo com a equação química $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ (LINARDI, 2010).

Os elétrons migram através de um circuito externo, produzindo energia elétrica. Os íons H^+ migram através do eletrólito para o cátodo, onde reagem com Oxigênio para formar água de acordo com a equação: $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$ (LINARDI, 2010).

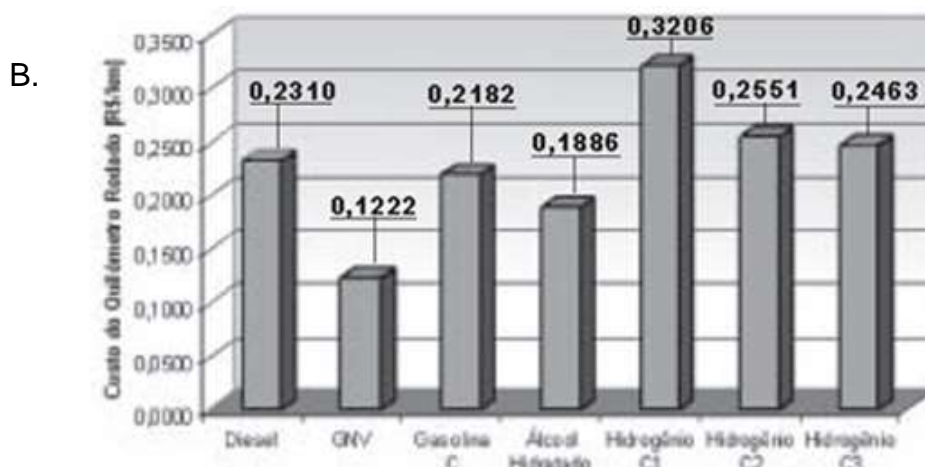
Segundo os dados da Nissan, um carro com o motor com o funcionamento com base em células combustíveis anda mais de seiscentos quilômetros a cada trinta litros de etanol, chegando a custar nove centavos de reais (R\$0,09) a cada quilômetro rodado, ou seja, além de melhorar o funcionamento do motor para que o carro ande mais, o preço do biocombustível que alimenta o motor seria bem mais barato do que os motores a gasolina, cujo custo é de cerca de trinta centavos de reais (R\$0,30) a cada quilômetro rodado.

Tabela 1. Comparativos de custos do km rodado com diferentes combustíveis.

	Preço Combustível ¹	Consumo	Custo do Quilômetro Rodado ² (R\$/km)
Diesel	1,848R\$/l	8km/l	0,2310
GNV	1,1R\$/m ³	9km/m ³	0,1222
Gasolina C	2,487R\$/l	11,4km/l	0,2182
Álcool Hidratado	1,509R\$/l	8km/l	0,1886
Hidrogênio C1	3,28R\$/m ³	10,23km/m ³	0,3206
Hidrogênio C2	2,61R\$/m ³	10,23km/m ³	0,2551
Hidrogênio C3	2,52R\$/m ³	10,23km/m ³	0,2463

Fonte: Jornal da Unicamp. Adaptado de NETO, 2006.

Figura 2. Custo do quilômetro rodado (R\$/km).



Fonte: Jornal da Unicamp. Adaptado de NETO, 2006.

Outro motor que pode ser bem eficaz é o com base em hidrogênio, em que o preço por quilômetro rodado pode ser de até vinte centavos de reais (R\$0,20). Segundo a UNICAMP, em 2020, a grande São Paulo terá uma frota de carros movidos a essa tecnologia e estações de abastecimento de hidrogênio. Estimasse que o custo do quilômetro rodado resultasse cerca de onze por cento mais barato que o da gasolina como mostra os gráficos abaixo (NETTO, 2006). A Tabela 1 e a Figura 2 apresentam a comparação dos custos de diferentes combustíveis do km rodado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, as células a combustível já ocupam um patamar de desenvolvimento que possibilitam sua implementação em veículos comerciais. A vantagem de se usar as células combustíveis na substituição dos motores de combustão movidos a combustíveis fósseis se dá pelo bom funcionamento do motor, menor emissão de gases poluentes, o que reflete na redução dos impactos ambientais, e, principalmente, pelo melhor preço no quesito de compra de combustível.

REFERÊNCIAS

ALBADÓ, R. Célula a Combustível a hidrogênio. 1ª Edição, Editora: Artliber. São Paulo – SP, 2004.

AROEIRA, G. J. R. Célula a Combustível. InfoEscola. Disponível em: <http://www.infoescola.com/eletroquimica/celula-de-combustivel/>. Acesso em 13.10.2017.

AMBIENTE ENERGIA. Uma matriz sustentável. Site Ambiente Energia, de 28 de março de 2011. Disponível em: <https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2011/03/uma-matriz-sustentavel/10246>. Acesso em 10.10.2017

ASHLEY, S. Na estrada dos carros a hidrogênio. Scientific American Brasil. Disponível em: http://www2.uol.com.br/sciam/reportagens/na_estrada_dos_carros_a_hidrogenio.htm. Acesso 29.09.2017.

dos SANTOS, C. A. O combustível do século 21, de 24 de abril de 2009. *Ciência Hoje*. Disponível em: http://www.cienciahoje.org.br/noticia/v/ler/id/2999/n/o_combustivel_do_seculo_21. Acesso em 17.10.2017.

GOMES NETO, E. H. G. Hidrogênio, Evoluir Sem Polir: A Era do Hidrogênio, das Energias Renováveis e das Células a Combustível. 1ª edição. Editora Brasil H2. Curitiba - PR, 2005.

LINARD, M. Introdução à ciência e tecnologia de células a combustível, 1ª edição, Editora: Artliber. São Paulo-SP, 2010, p.75.

LINARD, M. Introdução à ciência e tecnologia de células a combustível, 1ª edição, Editora: Artliber. São Paulo-SP, 2010, p.63.

NETTO, C. G. Tese projeta custos de frota de carros movidos a hidrogênio na SP de 2020. *Jornal da Unicamp*, edição 381 de 26 novembro a 02 de dezembro de 2006, p.4. Disponível em: http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/novembro2007/ju381pag04.html. Acesso em 29.09.2017.

PORTAL ENERGIAS. Células a Combustível – Tipos. Disponível em: <http://www.portal-energia.com/celulas-de-combustivel-tipos/>, de 13 de outubro de 2008. Acesso em 11.10.2017.

REUTERS. Nissan desenvolve carro movido a célula de combustível, de 14 de junho de 2016. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/economia/nissan-desenvolve-carro-movido-celula-de-combustivel-19500324>. Acesso em: 29.09.2017.

STEFANELLI, E. J. Célula a Combustível – energia elétrica limpa – hidrogênio. Disponível em: <http://www.stefanelli.eng.br/energia-eletrica-hidrogenio/>. Acesso em 26.03.2017

WENDT, H.; GOTZ, M.; LINARDI, M. Tecnologia de Células a combustível Química Nova, (4) 2000. p.23.