

## Protótipo de célula a combustível unitária do tipo PEM: Desenvolvimento e experimento preliminar

### PEMFC unit cell prototype: Development and preliminary experiment

**Fábio Henrique Rocha Martins**  
[fabioh.rmartins@gmail.com](mailto:fabioh.rmartins@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

**Alexei L. N. Pinheiro**  
[alexeilnp@utfpr.edu.br](mailto:alexeilnp@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

**Alexandre Sordi**  
[alexandresordi@utfpr.edu.br](mailto:alexandresordi@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

#### RESUMO

O trabalho teve por objetivo o desenvolvimento de um protótipo de célula a combustível FC do tipo PEM. As placas coletoras de corrente são de aço inox. As camadas difusoras são de titânio poroso tendo espessura de 1mm. O catalisador foi construído através da síntese do ácido hexacloroplatínico ( $H_2PtCl_6$ ), sendo que as nanopartículas de platina dispersas em substrato de carbono poroso foram obtidas através do método do ácido fórmico. A membrana condutora de prótons utilizada foi Nafion<sup>®</sup> 115. Foi desenvolvida uma prensa para o processo *hot-pressing*, a temperatura e a pressão do mecanismo foram limitados por controladores eletrônicos. A membrana condicionada e os eletrodos de 6,25 cm<sup>2</sup> de área de seção transversal foram unidos através do método *hot-pressing*. Foi realizado um experimento preliminar com a FC utilizando fluxos de hidrogênio e oxigênio, no qual o potencial de circuito aberto medido foi igual à 0.955V.

**PALAVRAS-CHAVE:** Célula a combustível. Hidrogênio. Eletrodos.

#### ABSTRACT

The objective of the current work was the development of a PEMFC unit cell prototype. Current collector plates are made of stainless steel. The gas diffusion layers composition are porous titanium of 1mm thickness. The catalyst layer was built through the synthesis of hexachloroplatinic acid ( $H_2PtCl_6$ ), and platinum nanoparticles deposited onto porous carbon substrates were obtained by formic acid method. The protons conducting membrane used was Nafion<sup>®</sup> 115. A mechanical press was developed for the hot-pressing process, the temperature and pressure of the hot-pressing machine used were controlled by electronic controllers. The pretreated membrane and electrode of a 6.25cm<sup>2</sup> cross-sectional area were bonded together by the hot-pressing method. A preliminary experiment was carried out using hydrogen and oxygen flows, in which the open circuit potential measured was to 0.955V.

**KEYWORDS:** Fuel Cell. Hydrogen. Electrodes.

**Recebido:** 30 ago 2018

**Aprovado:** 04 out 2018

#### Direito autorial:

Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

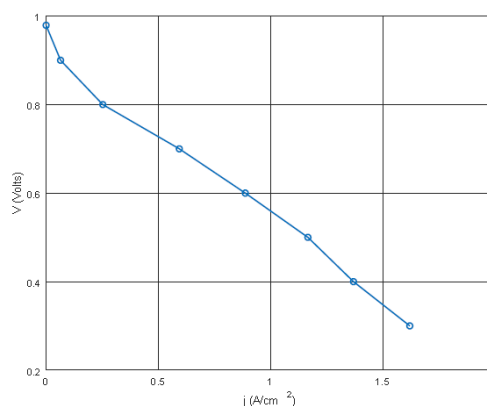
Nos últimos anos, as células a combustível têm recebido maior atenção e há uma expectativa de assumirem um papel de destaque como futuras geradoras de energia devido à sua alta eficiência, sobretudo no setor automotivo, no qual veículos movidos à hidrogênio são consideravelmente menos poluidores do que os movidos à combustíveis fósseis.

As células a combustível (FC) de membrana trocadora de prótons (PEM - *Proton Exchange Membrane*) são conversores diretos de energia química em elétrica e térmica, sendo o foco deste trabalho a geração de eletricidade através da utilização de hidrogênio puro. Este tipo de FC opera em baixas temperaturas (cerca de 80°C), fazendo-se necessária a utilização de eletrocatalisadores contendo metais nobres para acelerar as reações eletroquímicas (LARMINIE; DICKS, 2003). A estrutura básica de uma PEMFC consiste de dois eletrodos de difusão de gás (*Gas Diffusion Layer*) que envolvem uma membrana eletrolítica formando o denominado conjunto membrana eletrodo (MEA - *Membrane Electrode Assembly*).

O desempenho de tais dispositivos é influenciado pelos seguintes parâmetros operacionais: temperatura, pressão e umidificação dos gases. Os dados experimentais são de grande importância para os desenvolvedores de células a combustível no processo de obtenção de desempenho ótimo. Na maioria das vezes esse processo conta com o auxílio de modelos computacionais, principalmente CFD (*Computational Fluid Dynamics*) no caso macroscópico, em que aqueles também desempenham papel decisivo tanto na validação das simulações como no fornecimento de constantes de entrada. A comparação entre simulação e experimento é realizada através da obtenção de curvas de polarização que mostram o desempenho da célula de acordo com a variação dos parâmetros.

A curva de polarização teórica do protótipo o qual é objeto de estudo do presente trabalho foi obtida através de simulação computacional baseada no trabalho de Leonel (2017). Tal curva apresentou comportamento aproximado, por exemplo àquele observado nos experimentos de Wang et al. (2003), onde a densidade de corrente encontra-se entre 1.4A/cm<sup>2</sup> e 1.6A/cm<sup>2</sup> para uma tensão de 0.4V quando a célula opera a 60°C.

Figura 1 – Curva de polarização



Fonte: Autoria própria.



Tais diferenças observadas na comparação feita acima tem origens devido à inúmeros fatores, os quais podem ser reunidos em duas classes distintas, a saber: precisão da simulação e característica de projeto do dispositivo. Na primeira, conforme é destacado em Arvay et al. (2012) a precisão está diretamente relacionada ao número de interações, sendo que para um erro máximo de 5% são requeridas aproximadamente 15000 interações. O gráfico da Figura 1 foi obtido a partir de 1000 interações. Na segunda, o projeto de uma FC é composto por: placas coletoras de corrente com canais de fluxo, membrana trocadora de prótons, camada de catalisador, e camada difusora. Tais especificidades influenciam na relação entre tensão e densidade de corrente.

O principal desenvolvimento deste trabalho foi do eletrodo de difusão de gás, isto é do conjunto eletro catalizador e camada difusora. Um eletrodo efetivo é aquele que permite um balanço adequado entre os processos de transporte de massa e carga conforme estudo em Litster e Mclean (2004).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada a obtenção do ácido hexacloroplatínico ( $H_2PtCl_6$ ). Um fio de platina (Pt) foi limpo com acetona e álcool etílico sendo posteriormente determinada sua massa através de balança analítica. Obteve-se 97,6mg de Pt a 99,9% de pureza. Em seguida, este fio foi inserido num balão volumétrico de fundo redondo de 100mL onde ocorreu a dissolução numa mistura de 75mL de ácido clorídrico (HCl) e 10mL de ácido nítrico ( $HNO_3$ ) concentrados e sob aquecimento. O sistema foi montado dentro da capela e teve como componentes um frasco plástico de 500mL com hidróxido de potássio (KOH), um balão volumétrico de duas bocas vazio utilizado como estágio intermediário e, por fim, o balão contendo o ácido, todos conectados por mangueiras. Esporadicamente adicionava-se 10mL de  $HNO_3$  até que fosse possível observar que o gás gerado pela reação de decomposição da platina se tornasse incolor.

A preparação do  $H_2PtCl_6$  é fundamental para que seja possível realizar a dispersão de Pt na forma de nanopartículas em carbono na construção da camada catalítica. A obtenção das nanopartículas de Pt dispersas em carbono foi realizada utilizando o método do ácido fórmico ( $CH_2O_2$ ) desenvolvido na Universidade de São Paulo (2005), que consiste na adição de ácido hexacloroplatínico em uma suspensão de carvão ativado de elevada área superficial em ácido fórmico. Utilizou-se 0,4g de carbono (Vulcan XC72) e 0,1g de Pt para o preparo de 20% Pt/C.

Para aplicação das nanopartículas sobre a membrana de Nafion foi necessário o desenvolvimento de um veículo de transporte, neste caso uma tinta. Após a realização de testes, selecionou-se a tinta catalítica com maior resistência à fratura e melhor acabamento superficial, a qual é composta de isopropanol e de Nafion<sup>®</sup>. A carga de Pt depositada através da aplicação da tinta foi de  $0,4mg/cm^2$ , a qual no levantamento feito por Litster e Mclean (2004) situa-se no valor intermediário entre os métodos mais antigos que utilizavam  $4mg/cm^2$  e os processos mais avançados que utilizam  $0,014mg/cm^2$ .

Foi desenvolvida uma prensa mecânica manual de bancada para realização do processo de *hot-pressing* do conjunto membrana eletrodo, a qual conta com

medidor digital da carga aplicada através do acoplamento da célula de carga do tipo “s” com uma placa de Arduino UNO. O projeto deste mecanismo atende à demanda de aplicação de uma carga máxima de 1000kg.

O condicionamento da membrana de Nafion<sup>®</sup> foi realizado para que esta estivesse apta para receber a tinta catalítica citada anteriormente. Após o condicionamento a prensagem a quente (*hot-pressing*) foi realizada e o conjunto membrana eletrodo foi submetido à um processo de 1,5min de duração a 130°C e aproximadamente 140Mpa, resultando em 480kg para a área superficial da membrana. A Figura 2 ilustra a membrana com a camada de catalisador e as duas camadas difusoras de titânio poroso antes do início do *hot-pressing*.

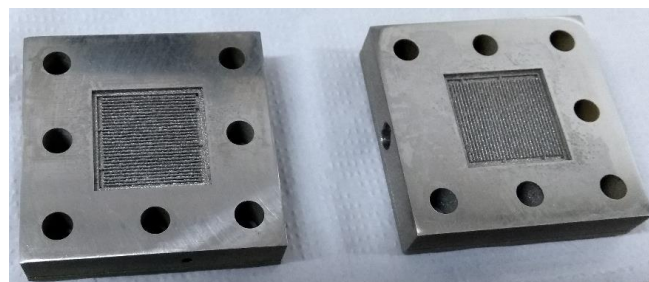
Figura 2 – MEA preparado para o *hot-pressing*.



Fonte: Autoria própria.

Após a prensagem a quente, o MEA, cujas dimensões são de 2,5cm x 2,5cm, estava pronto e a célula a combustível pôde então ser efetivamente montada. A Figura 3 ilustra as duas placas coletoras de corrente fabricadas em aço inox com os canais de fluxo impressos, as quais receberam o MEA.

Figura 3 – Placas coletoras com canais de fluxo.



Fonte: Autoria própria.

Após a montagem da célula unitária foi realizado um teste de vazamento. Tal teste consistiu na passagem de gás N<sub>2</sub> através dos canais do cátodo e ânodo à pressão de aproximadamente 3bar. Após a verificação da ausência de vazamento a célula foi acoplada ao sistema de umidificação.

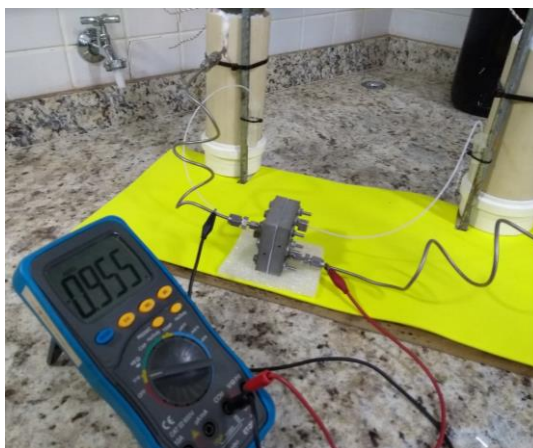
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Obteve-se um protótipo de sistema de geração de eletricidade baseado em célula a combustível alimentada com H<sub>2</sub>. Foi realizado o primeiro experimento com o gerador eletroquímico, para isso os umidificadores foram conectados aos

cilindros de  $H_2$  e  $O_2$ . Um multímetro digital foi utilizado para a medição da tensão elétrica de saída. O valor da tensão foi medido em 0,955V estando o sistema não conectado a uma impedância, ou seja, neste experimento inicial a corrente elétrica foi praticamente zero.

Esta tensão elétrica medida no experimento é definida como potencial de circuito aberto da célula a combustível, é o primeiro ponto da curva de polarização. O seu valor está de acordo com o comumente encontrado na literatura. A Figura 4 mostra o experimento com a FC unitária.

Figura 4 – Experimento com a FC unitária.



Fonte: Autoria própria.

## CONCLUSÃO

Neste trabalho foi construído um protótipo de célula a combustível unitária do tipo PEM para geração de eletricidade a partir de hidrogênio puro. No primeiro experimento, utilizando como combustível e oxidante  $H_2$  e  $O_2$ , respectivamente o gerador eletroquímico apresentou uma tensão elétrica de 0,955V. Será dada continuidade no trabalho, onde deverão ser conduzidos experimentos para obtenção da curva de polarização e espectroscopia de impedância eletroquímica.

## REFERÊNCIAS

LARMINIE, James; Dicks, Andrew. **Fuel Cell Systems Explained**. 2. Ed. West Sussex: Wiley & Sons Ltd, 2003. 418 p.

LEONEL, Elvis M. T. **SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE DO DESEMPENHO DE UMA CÉLULA A COMBUSTÍVEL UNITÁRIA TIPO MEMBRANA TROCADORA DE PRÓTONS NO ANSYS FLUENT**. 2017. 75 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.



WANG, L. et al. A parametric study of PEM fuel cell performances. International Journal Of Hydrogen Energy, [s.l.], v. 28, n. 11, p.1263-1272, nov. 2003. Elsevier BV. [http://dx.org/10.1016/s0360-3199\(02\)00284-7](http://dx.org/10.1016/s0360-3199(02)00284-7).

ARVAY, A. et al. Convergence criteria establishment for 3D simulation of próton Exchange membrane fuel cell. International Journal Of Hydrogen Energy, [s.l.], v. 37, n. 3, p.2482-2489, fev 2012. Elsevier BV. <http://dx.org/10.1016/j.ijhydene.2011.11.005>.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (São Carlos). Departamento de Química. J. Perez; A. L. N. Pinheiro; E. A. Ticianelli; E. R. Gonzalez. **Processo de Obtenção de Catalisador de Platina Dispersa ancorada em Substrato Aravés de Redução por Ácido**. BR n° PI9702816-9, 1997. 2005.

LITSTER, S.; MCLEAN, G.. PEM fuel cell electrodes. Journal Of Power Sources, [s.l.], v. 130, n. 1-2, p.61-76, maio 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2003.12.055>.

#### AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Otimização, Projetos e Controle Avançado (LOPCA) da Universidade de Campinas, pela fabricação das placas coletoras de corrente.