

ANÁLISE EXPERIMENTAL DE UMA CÉLULA A COMBUSTÍVEL PEM 15W

Raphael Guardini Miyake

Laboratório de Combustão e Engenharia de Sistemas Térmicos
Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis - SC
miyake@labcet.ufsc.br

Edson Bazzo

Laboratório de Combustão e Engenharia de Sistemas Térmicos
Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis - SC
ebazzo@emc.ufsc.br

Resumo. Células a combustível vêm sendo consideradas como alternativas promissoras na geração de energia elétrica. Na expectativa de contribuir com o desenvolvimento desta tecnologia, uma célula a combustível do tipo PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) de 15 W foi instalada para testes no LabCET (Laboratório de Combustão de Engenharia de Sistemas Térmicos). Trabalhos já publicados reportam resultados preliminares sobre curvas de polarização que indentificam a necessidade de controle rigoroso das temperaturas de umidificação da célula. Nesse trabalho, novos dados foram levantados considerando uma possível degradação do eletrólito, resultante do tempo de uso da célula e a utilização de um ventilador alimentado pela própria célula. Novas curvas de polarização foram plotadas e com isso, foi possível comparar os resultados da bancada experimental.

Palavras chave: Célula a combustível; PEMFC; Proton exchange membrane.

1. Introdução

O alto preço do petróleo e a preocupação crescente pela busca de tecnologias eficientes que não degradem o meio ambiente têm sido fatores importantes para motivar o desenvolvimento de novas alternativas para produção de energia elétrica. Nesse sentido, a célula a combustível se apresenta como uma alternativa viável do ponto de vista técnico e ambiental. Apresentam alta eficiência na conversão da energia química do combustível em energia elétrica, e, dependendo da sua temperatura de operação, permitem o uso do calor residual produzido nas reações químicas para fins de cogeração. São compactas, silenciosas, menos poluentes que os sistemas de geração convencionais e garantem geração de energia elétrica de qualidade. Inventada em 1839 por William R. Grove, foi chamada primeiramente de “gaseous voltaic battery”. Células a combustível são dispositivos eletroquímicos que convertem continuamente energia química em energia elétrica e calor pelo tempo em que houver alimentação de combustível e de oxidante. Os tipos mais comuns são a SOFC (Solid oxide fuel cell), AFC (Alkaline fuel cell), MCFC (Molten carbonate fuel cell), DMFC (Direct methanol fuel cell), PAFC (Phosphoric acid fuel cell) e a PEMFC (Proton exchange membrane fuel cell).

As células a combustível do tipo PEM (Proton Exchange Membrane) geralmente são utilizadas em automóveis e em sistemas portáteis de geração (laptops, celulares, etc), devido sua baixa temperatura de operação, tamanho compacto, baixo peso, partida rápida, longa vida útil e capacidade de trabalhar em regime descontínuo e com altas densidades de corrente (Ghenciu, 2002). O transporte iônico dessas membranas, além de depender das ligações químicas, depende também da quantidade de água presente na mesma. Dessa forma, existe a necessidade de um gerenciamento de água eficiente nas células PEM. Além da condutividade de prótons, a permeabilidade dos gases e as propriedades mecânicas da membrana também são influenciadas pela quantidade de água presente na mesma (Hoogers, 2003).

Células a combustível se destacam pela sua alta eficiência e baixo grau de poluentes emitidos. Essas características elevam as perspectivas da utilização no setor automobilístico e mesmo em aplicações estacionárias. Grandes empresas investem valores consideráveis na busca de aperfeiçoamento dessa tecnologia visando sua aplicação em automóveis.

Com o funcionamento basicamente similar ao de uma pilha, células PEM têm como estrutura básica dois eletrodos (anodo e catodo) e um eletrólito (membrana polimérica), sendo utilizado hidrogênio como combustível e ar ou oxigênio puro como oxidantes. Ao entrar em contato com o anodo, o hidrogênio dissocia-se formando íons H^+ e um par de elétrons. A membrana polimérica impede a passagem direta dos elétrons entre os dois eletrodos, induzindo uma corrente elétrica através de um circuito externo (fig.1). O oxigênio puro ou ar é introduzido no catodo, onde reage com os íons H^+ provenientes do ânodo e elétrons, formando água como resultado final da operação.

Células a combustível do tipo PEM tem a propriedade de operar com temperaturas baixas, em média 80°C. Tem como vantagens importantes a facilidade de fabricação, capacidade para suportar grandes diferenciais de pressão dos gases e perspectivas de longa vida de duração. Por outro lado, têm como desvantagens o alto custo da membrana polimérica, baixa tolerância ao CO e a dificuldades de integração com sistemas de reforma para produção de hidrogênio (Kordesch and Simader, 1996). Atualmente, em virtude de seu elevado preço e das dificuldades ocasionadas pelo fato desta tecnologia trabalhar com hidrogênio como combustível, sua aplicação só se justifica em casos excepcionais ou em plantas para estudo e demonstração. O apelo ambiental, apesar de forte, por si só não é suficiente para colocar a célula a combustível como uma alternativa viável ao problema energético.

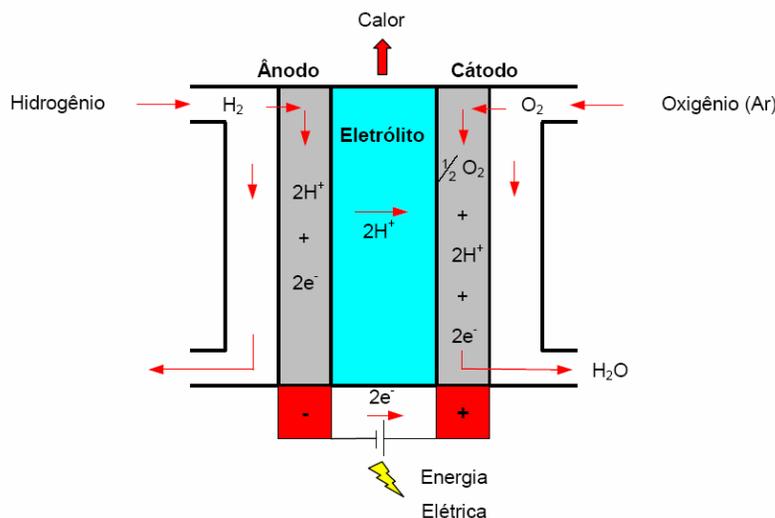


Figura 1. Funcionamento da célula a combustível do tipo PEM.

Estudos atuais relacionados aos diversos parâmetros que envolvem o funcionamento da célula têm proporcionado alto grau de contribuição para sua viabilização técnica e econômica no mercado. É de conhecimento geral que parâmetros básicos como diferentes temperaturas de operação, diferentes pressões e vazões possuem relação direta com a densidade de corrente e eficiência da membrana polimérica. Plantas de escala reduzida requerem alta densidade de corrente. Plantas destinadas à geração de energia elétrica requerem alto índice de eficiência da célula a combustível (Hoogers, 2003). Por isso a ampliação de estudos relacionados a sua aplicação em particular é importante. Pesquisa recente realizada na UFSC deixou evidente uma relação forte entre a temperatura de umidificação da membrana polimérica e temperatura de operação da célula (Steidel, 2005). O estudo consistiu em verificar a influência das temperaturas de operação e de umidificação na densidade de corrente da membrana polimérica. O presente trabalho confirma os resultados já obtidos, demonstrando uma relação direta entre estes parâmetros com a densidade de corrente da membrana polimérica.

2. Bancada experimental

Uma bancada experimental foi utilizada para simulação, controle e aquisição de dados (Fig. 2). Ela é composta por controladores Omega para controle de pressão dos gases hidrogênio, oxigênio e nitrogênio, dois medidores/controladores de vazão de hidrogênio e oxigênio, sistema de controle da temperatura de operação da célula e carga dinâmica para ajuste da tensão e corrente desejadas, além de uma célula a combustível de fabricação brasileira, do tipo PEM de 15 W. O material do eletrólito utilizado é Nafion® 112, com área de 25 cm². As placas coletoras do ânodo e do cátodo são de grafite com serpentina usinada em ambos os lados, sendo as cargas de Pt/Ru do cátodo e do ânodo de 0,6 mg/cm² e de 0,4 mg/cm², respectivamente. Diferentemente de testes realizados anteriormente, um ventilador demonstrativo foi agora conectado à célula a combustível.

Dois cilindros da empresa White Martins de hidrogênio 5.0 analítico (99,999% de pureza mínima) e de oxigênio 4.0 analítico (99,99% de pureza mínima) foram utilizados para suprimento de combustível e oxidante, respectivamente. A umidificação foi realizada através de um sistema baseado no princípio de borbulhamento (Fig. 3), onde os gases foram borbulhados numa solução de água deionizada com controle de temperatura. Água deionizada foi utilizada para minimizar contaminação dos gases.



Figura 2. Bancada experimental



Figura 3. Umidificador

3. Procedimento experimental

Estudos já realizados anteriormente demonstraram que para garantir melhor desempenho devem-se utilizar temperaturas de umidificação próximas das temperaturas de operação da célula (Steidel, 2005). Na expectativa de confirmar estes resultados, o seguinte procedimento de testes foi adotado:

- Vazão constante em todos os testes (200 ml/min para o hidrogênio e 165 ml/min para o oxigênio);
- Pressão constante em todos os testes (50 kPa para hidrogênio e oxigênio);
- Temperaturas de umidificação de 30°C, 50°C e 70°C;
- Temperaturas de operação da célula de 30°C, 40°C, 50°C, 60°C e 70°C.

Temperaturas maiores não foram testadas, devido à ocorrência de instabilidades nos resultados apresentados. O processo de umidificação dos gases numa célula a combustível é necessário para manter determinada quantidade de água na membrana polimérica. Com isso, consegue-se uma maior condutividade protônica na mesma. Deve-se levar em consideração que o excesso de água provoca “encharcamento” da membrana, levando a uma diminuição razoável do rendimento da célula a combustível.

4. Dados experimentais e resultados

Para garantir confiabilidade dos resultados, foram realizadas quatro baterias de testes para cada par de temperaturas. Com isto, foi possível traçar curvas de polarização tensão por densidade de corrente considerando maior número de dados experimentais (fig.4 e fig.5), minimizando as incertezas de medição de cada teste. A curva final foi definida pela opção *Average Multiple Curves*, do programa Origin 7.0 Com as curvas de polarização definidas, foi possível traçar gráficos que comparam o rendimento da célula a combustível para cada temperatura de umidificação, previamente estabelecidas em 30, 50 e 70°C, respectivamente (fig.6, fig.7 e fig.8).

De acordo com os resultados obtidos, fica evidente a ocorrência de perdas, mesmo para a condição de menor densidade de corrente, ou seja, para operação de circuito aberto. Na condição ideal, a tensão seria independente da densidade de corrente, tendo como máximo valor 1,229 V. A tensão ideal é obtida no caso de processo isotérmico, isobárico e reversível. Inicialmente, há uma queda brusca de voltagem decorrente das perdas de ativação, ocasionadas

em decorrência da energia utilizada para romper a barreira de ativação da reação química, como observado nas curvas de polarização obtidas.

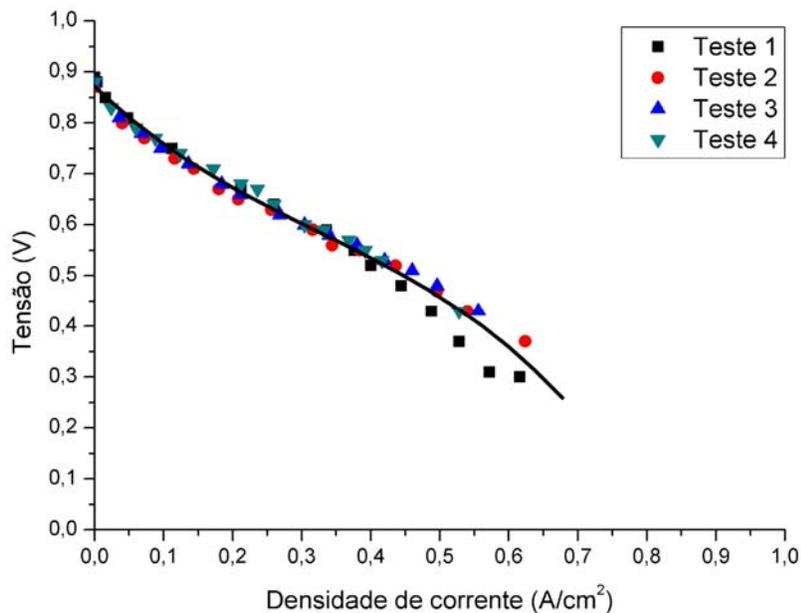


Figura 4. Curva de polarização obtida nos testes com temperaturas de operação e umidificação de 50°C e 30°C respectivamente.

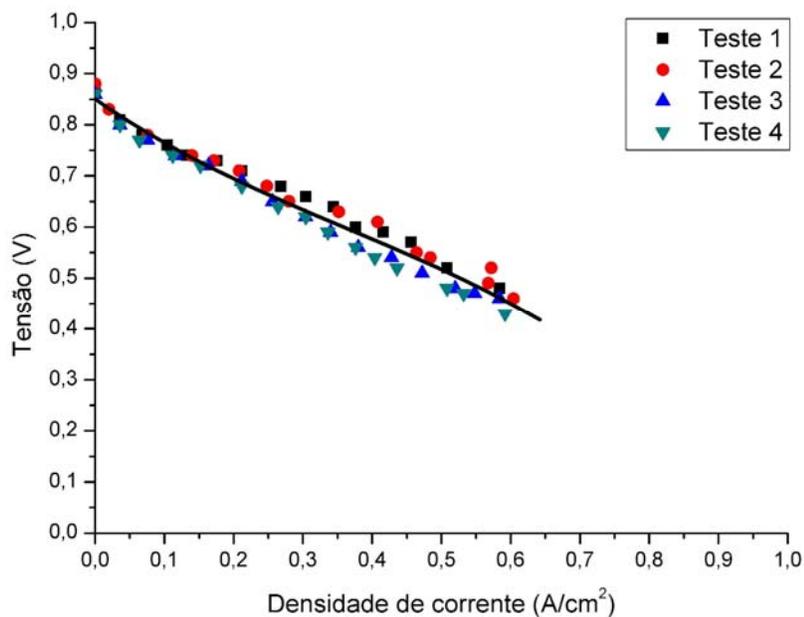


Figura 5. Curva de polarização obtida nos testes com temperaturas de operação e umidificação a 60°C e 50°C, respectivamente.

Em termos gerais, as curvas de polarização obtidas tiveram o comportamento esperado no decorrer dos testes. A inclinação na região linear da curva densidade de corrente por tensão decai, indicando uma queda na resistência interna da célula. Isto acontece predominantemente devido a diminuição da resistência ôhmica do eletrólito (Kordesch, 1996).

No caso de altas densidades de corrente, esperava-se um segundo ponto de inflexão com queda acentuada na voltagem, decorrente de perdas de concentração dos reagentes na superfície dos eletrodos. Como a redução na concentração é resultado do transporte insuficiente dos reagentes para os eletrodos, este tipo de perda é também chamada de “perda por transporte de massa”. Nos testes realizados, não foi possível identificar o segundo ponto de inflexão, tendo em vista as limitações técnicas da bancada experimental, relacionadas com a carga dinâmica utilizada, que não permitia operação acima de 25 A.

Os testes foram realizados de acordo com o especificado pelo fabricante, sendo que cada dado foi colhido com uma espera de noventa segundos para estabilizar a medida feita pelos equipamentos.

Dentre os principais problemas do equipamento avaliado, pode-se destacar a existência ainda precária de sistema de umidificação. O controle deste parâmetro junto à temperatura de operação é de fundamental importância para o desempenho da célula PEM, conforme pode ser observado nos experimentos realizados. De uma forma geral, os resultados mostram que o aumento da temperatura de operação tende a aumentar a eficiência do equipamento, desde que a umidificação da membrana seja adequada. A figura 6 apresenta as curvas de polarização para uma temperatura de umidificação de 30°C e diferentes temperaturas de operação. Nota-se que as áreas correspondentes às curvas de polarização crescem com o aumento de temperatura de operação da célula, discordando de resultados obtidos anteriormente em laboratório e, por isso, sugerindo uma análise complementar do assunto.

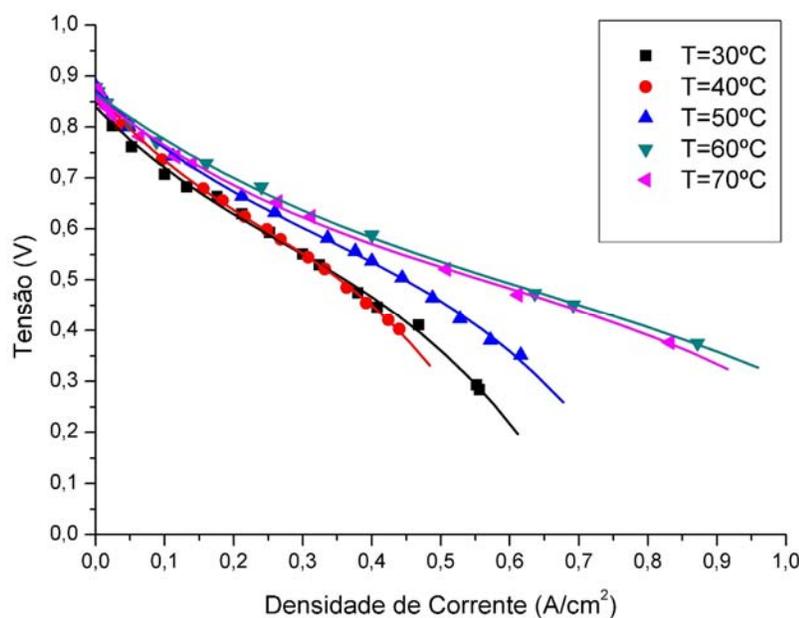


Figura 6. Curvas de polarização de diferentes temperaturas de operação para temperatura de umidificação de 30°C.

A figura 7 mostra as curvas de polarização para a temperatura de umidificação de 50°C e novamente diferentes temperaturas de operação. Nota-se que contrariamente ao observado na fig.5, agora as curvas de polarização são praticamente coincidentes, com exceção daquela que representa a temperatura de operação de 70°C, que se localiza um pouco abaixo das outras. Isso demonstra que para temperaturas de operação mais altas e distantes da temperatura de umidificação, obtêm-se menores densidades de corrente.

Já, para a temperatura de umidificação de 70°C (fig.8), observa-se que as curvas relacionadas às temperaturas de operação com maior área são aquelas próximas da temperatura de umidificação. Nota-se então, que para maiores densidades de corrente, a temperatura de operação da célula tem que ser ajustada próxima da temperatura de umidificação, concordando parcialmente com Atkins et al, 2003, que descreve que para uma maior densidade de corrente deve-se optar por temperaturas de umidificação iguais ou superiores à temperatura da célula. Temperaturas de

umidificação maiores do que as de operação da célula ocasionam a condensação da água junto à membrana polimérica, ocorrendo “encharcamento” da mesma.

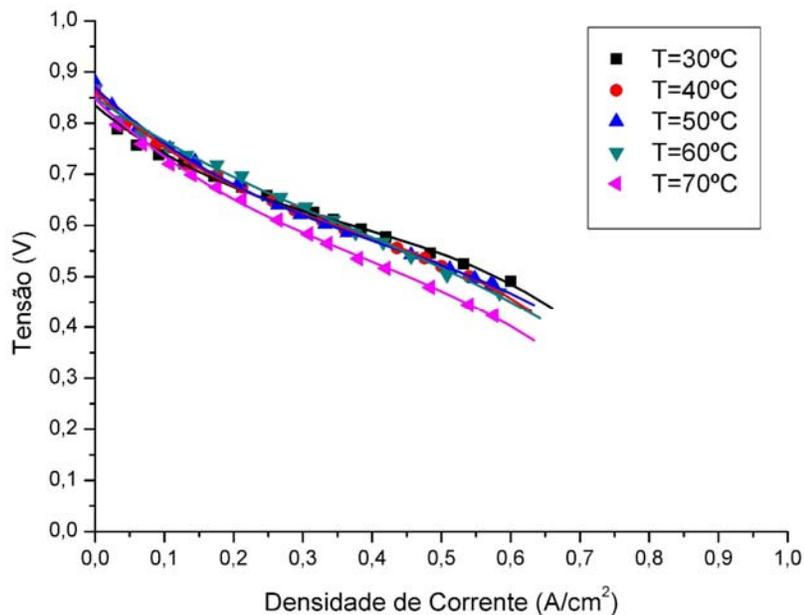


Figura 7. Curvas de polarização de diferentes temperaturas de operação para temperatura de umidificação de 50°C.

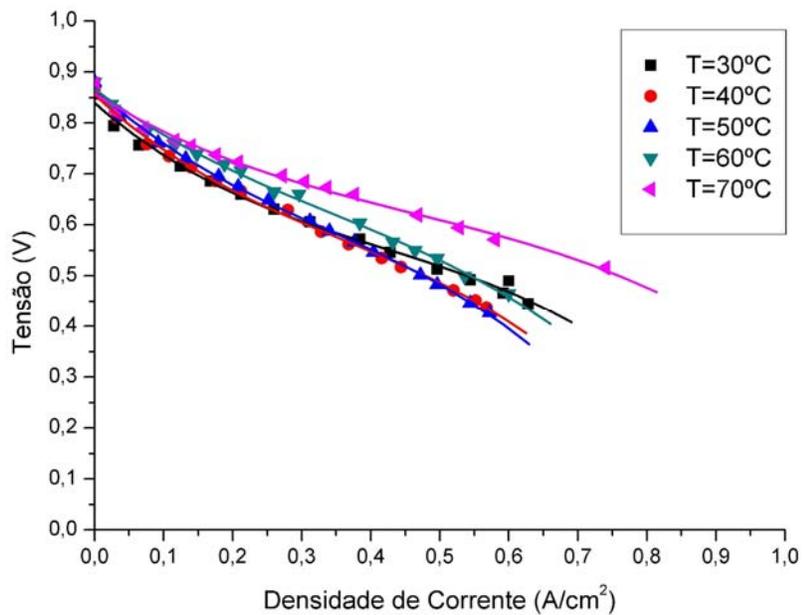


Figura 8. Curvas de polarização de diferentes temperaturas de operação para temperatura de umidificação de 70°C

Embora um mesmo experimento tenha sido realizado com a mesma célula a combustível, notou-se também uma queda acentuada de rendimento, comparando-se com resultados anteriores (Steidel, 2005), presumivelmente devido ao alto grau de degradação observado na membrana polimérica no decorrer do tempo de uso. Considera-se esta uma das causas do baixo rendimento obtido nos testes realizados. Este modelo concorda com o descrito por Kulikovskiy et al, 2004, embora não tenha sido possível determinar em qual momento ocorreu o início da degradação do eletrólito. O uso de um ventilador para visualização da tensão também contribuiu para a queda de rendimento, nesse caso devido às resistências internas do mesmo, não incluídas na medição da carga dinâmica inicialmente prevista para a bancada experimental. Do ponto de vista da alimentação de combustível, utilizando a vazão indicada pelo fabricante, notou-se também a liberação do excesso de hidrogênio na saída da célula. A utilização de uma válvula de controle solucionaria este problema, que em parte, implica na queda da eficiência da célula. Mesmo com estas diferenças experimentais, foi possível confirmar os resultados descritos anteriormente no laboratório.

5. Conclusão

As células a combustível de fabricação nacional ainda apresentam dificuldades operacionais que necessitam de especial atenção para atingir o padrão apresentado por fabricantes internacionais. Os resultados obtidos mostram a necessidade de um controle rigoroso sobre temperaturas de umidificação de operação de células a combustível do tipo PEM, corroborando resultados obtidos anteriormente, mesmo com a bancada operando em diferentes condições experimentais. As curvas de polarização apresentaram comportamento previsto na literatura. Comparando os resultados, ficou evidente uma queda de rendimento da célula a combustível, atribuído à degradação da membrana polimérica ao longo do tempo, ausência de uma válvula de controle para a saída do combustível e uso de um ventilador de demonstração. Novos testes estão programados para a mesma célula de 15W, agora utilizando membranas poliméricas desenvolvidas em cooperação com o POLIMAT, Grupo de Estudos em Materiais Poliméricos, do departamento da Química da UFSC.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, entidade governamental brasileira promotora do desenvolvimento científico tecnológico, pelo suporte financeiro fornecido concedido ao projeto.

7. Referências

- Atkins, J. R., Savett, S. C., Creager, S.E., 2003, "Large-scale current fluctuations in PEM fuel cells operating with reduced feed stream humidification", *Journal of Power Sources*, Article in Press.
- Ghenciu, A. F., "Review of fuel processing catalysts for hydrogen production in PEM fuel cell systems", *Current Opinion in Solid State and Material Science*, vol. 6, pp. 389-399, 2002;
- Hoogers, G., "Fuel Cell Technology Handbook", CRC Press, New York, USA, 2003;
- Hym, D., Kim, J., "Study of a external umidification method in proton exchange membrane fuel cell", *Journal of power forces* 126, 2004, pp. 98-103;
- Kordesch, K. and Simader, G., "Fuel Cell and Their Applications", 1st Edition, VCH, Weinheim, Germany, 1996.,
- Kulikovskiy, A. A., Scharmann, H. and Wippermann, K., "Dinamics of fuel cell performance degradation", *Electrochemistry communications* 6, pp. 75-84, 2004;
- Steidel, P. P., "Estudo teorico e experimental de celulas-combustivel PEM e perspectivas de aplicação de sistemas de geração distribuida"; *Dissertacao aprovada pelo POSMEC da Universidade Federal de Santa Catarina*, 2005.

Experimental Analysis of a PEM Fuel Cell 15W

Raphael Guardini Miyake
Laboratory of Combustion and Thermal System Engineering
Department of Mechanical Engineering
Federal University of Santa Catarina
Florianópolis – SC
miyake@labcet.ufsc.br

Edson Bazzo
Laboratory of Combustion and Thermal System Engineering
Department of Mechanical Engineering
Federal University of Santa Catarina

Florianópolis – SC
ebazzo@emc.ufsc.br

Abstract: Fuel cells have been considered a promising alternative for electric energy generation. In order to contribute with the development of this technology, a PEM fuel cell was installed and new experiments were carried out at LabCET (Laboratory of Combustion and Thermal System Engineering). Previous results have shown polarization curves identifying the need of rigorous controlling of humidification temperature of the fuel cell. In this paper, new results were carried out considering the use of a fan connected to the fuel cell and possible degradation in the electrolyte, after a relative long time operation. New polarization curves were plotted for comparison with previous results.

Keywords: Fuel Cell; Proton Exchange Membrane; PEMFC.