

# **ESTUDO DAS DIVERSAS TECNOLOGIAS DE CÉLULA A COMBUSTÍVEL.** João Henrique Gulineli Fachini, Ricardo Alan Verdú Ramos, Itamar Rodrigo Barros. – Ciências Térmicas - Engenharia Mecânica - Departamento de Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Campus Ilha Solteira.

Após a revolução industrial e a grande expansão da economia mundial os efeitos da poluição vêm sendo acumulados, e atualmente preocupa especialistas da área. Um dos maiores problemas ambientais enfrentados nos dias de hoje é o aumento gradual da temperatura. Um dos causadores deste aumento da temperatura é a grande quantidade de gases causadores do efeito estufa que são expelidos todos os dias, principalmente com a queima de petróleo.

Pensando nos problemas ambientais, instabilidade política de certas regiões produtoras de petróleo e do seu posterior esgotamento, pesquisas vem sendo realizadas no sentido de desenvolver novas tecnologias com combustíveis renováveis e não poluentes. Uma destas tecnologias é a Célula a Combustível (CaC).

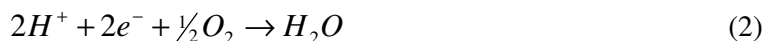
De acordo com Hoongers (2002) a célula a combustível é um dispositivo eletroquímico, similar a uma bateria, que converte sistematicamente energia química em energia elétrica de acordo com o fornecimento de combustível e oxidante. Sua importância deve-se a grande eficiência alcançada na transformação de energia química em energia elétrica. Além de não emitir poluentes e ser um mecanismo silencioso, utiliza combustíveis renováveis para o seu funcionamento.

Esta tecnologia possui inúmeras utilizações algumas delas são citadas a seguir: implementar a rede de distribuição de energia; diminuir a dependência das grandes centrais, atuando como um mecanismo de emergência; substituir baterias dos aparelhos eletro-eletrônicos; poderá ainda ser utilizada no setor automobilístico substituindo motores a combustão ou atuando em sistemas híbridos.

O hidrogênio, combustível da CaC, é oxidado à prótons no ânodo de acordo com a reação:



No cátodo ocorre a reação seguinte:



Assim a reação global pode ser representada por:



Os eletrodos de difusão gasosa, ânodo e o cátodo, são separados por um eletrólito, condutor iônico, que é responsável por conduzir os íons do ânodo para o cátodo sem permitir a mistura dos gases reagentes.

A ruptura das moléculas de hidrogênio e de oxigênio requer uma quantidade de energia da mesma ordem que a da sua formação, quando são reações homogêneas e ocorrem na fase gasosa. Entretanto nas CaC estas reações são heterogêneas, sendo catalisadas pela platina, no caso de CaC de baixas temperaturas, na interface Eletrodo/Eletrólito.

A classificação de uma CaC se dá pelo tipo de eletrólito e pela temperatura de operação. Nesse sentido este trabalho analisou as diversas tecnologias de CaC de acordo com seus parâmetros operacionais. Sendo esta etapa, de análise e exploração das diversas tecnologias, a introdução de um projeto maior do NUPLEN, Núcleo de Planejamento Energético da UNESP de Ilha Solteira, que visa em uma segunda estância a análise de reformadores de etanol para produção de hidrogênio para uso em células a combustível.

Para elaborar tal análise e entender o funcionamento das CaC foi feito primeiramente um levantamento bibliográfico direcionado para artigos técnicos, periódicos, revistas especializadas, Internet e livros científicos. Após este levantamento foi feito o estudo e a análise das tecnologias de CaC.

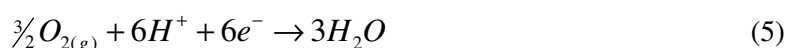
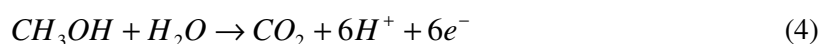
Os tipo de CaC, espécie de eletrólito, temperatura de operação, vantagens e desvantagens são mostrados na Tab. 1, (Wendt, *et al.* 2006):

**Tabela 1** – Comparativo de diferentes tecnologias de células a combustível.

Tipo de célula	Espécie de eletrólito	Temperatura de operação (°C)	Vantagens	Desvantagens
Metanol Direto (CCMD)	(H3O+)	50 a 100	- Obtém o hidrogênio do metanol líquido	- Baixa eficiência
Alcalina (CCA)	KOH (OH-)	60 a 220	- Grande Eficiência (83%) - Confeccionada com materiais de baixo custo	- Sensível ao CO <sub>2</sub> - Combustível: Hidrogênio extremamente puro
Membrana de troca protônica (CCMPP)	(H3O+)	80 - 120	- Densidade elevada de potência - Baixa corrosão do eletrólito (maior vida útil)	- Alto custo da membrana - Contaminação por CO
Ácido fosfórico (CCAF)	H3PO3 (H3O+)	100 - 220	- Mais desenvolvida tecnologicamente	- Eficiência limitada pela corrosão
Carbonatos Fundidos (CCCF)	Carbonatos Fundidos (CO32-)	600 - 700	- Utiliza catalisadores mais econômicos (Ni) - Possibilita coogeração.	- Necessidade de uma fonte de CO <sub>2</sub> - Problemas de materiais
Óxido Sólido (CCOS)	ZrO2 (O2-)	650 - 1000	- Alta eficiência - Reforma do combustível feita na própria célula	- Expansão térmica - Alta resistividade no eletrólito – menor desempenho

Como se pode observar na Tab. 1, CaC de Metanol Direto (CCMD) operam à temperaturas relativamente baixas, necessitando assim de um excelente catalisador, nesse caso a platina. O catalisador do ânodo obtém o hidrogênio do metanol líquido. Este tipo de combustível é interessante pela facilidade de transporte e armazenamento comparado com o hidrogênio gasoso (Wendt *et al.*, 2006).

As reações básicas que ocorrem no ânodo e no cátodo deste tipo de célula são descritas a seguir:



Este tipo de célula se torna atrativa por trabalhar a baixas temperaturas, podendo ser utilizada desde sistemas muito pequenos, como celulares, até tamanhos médios. A eficiência deste tipo de célula pode ser aumentada com o aumento da temperatura (Hoongers, 2002).

CaC alcalinas (CCA) trabalham em temperaturas de 60 a 220 °C. A velocidade das reações é aumentada devido à utilização de eletrodos porosos impregnados por catalisadores como o níquel, prata, óxidos metálicos e metais nobres. Este tipo de Célula foi e é muito utilizada em missões espaciais, por ter grande eficiência, e pelo fato de produzir água pura, que pode ser utilizada para o consumo humano com o acréscimo de alguns sais minerais. Entretanto sua utilização no cotidiano é dificultada por utilizar como combustível o hidrogênio extremamente purificado, o que dificulta e aumenta seu custo de operação. A necessidade de um combustível tão purificado é devido que impurezas como o CO e o CO<sub>2</sub> podem reagir com o KOH alterando, assim, a natureza do eletrólito (Aldabó, 2004).

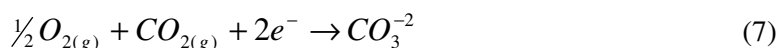
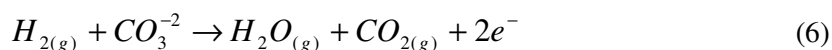
Já as CaC com membrana de permuta protônica (CCMPP) devem trabalhar em temperaturas entre 80 e 120 °C. Por trabalharem em baixas temperaturas, assim como as alcalinas, necessitam de um excelente catalisador, neste caso a platina. Utilizam como combustível hidrogênio puro. No entanto outros combustíveis podem ser utilizados, desde que passem por um reformador. Sua

principal aplicação é no setor automobilístico, por trabalharem em baixas temperaturas e ter alta densidade de potência (Hoongers, 2002).

Foram analisadas também as CaC de ácido fosfóricas (CCAF) que funcionam de 100 a 220 °C. Utiliza hidrogênio gasoso como combustível. O eletrólito é o ácido fosfórico líquido embebido em uma matriz porosa. É a mais desenvolvida tecnologicamente possuindo atualmente mais de 200 sistemas instalados em todo o mundo. Uma das principais vantagens deste tipo de célula é que pode utilizar hidrogênio pouco puro como combustível e ainda suporta uma concentração de CO de até 1,5 %. Mesmo operando em temperaturas mais elevadas, utiliza a platina como catalisador. Por apresentar baixa eficiência são dispositivos grandes e pesados, desta forma adequada para sistemas estacionários.

CaC de carbonato fundido (CCCF) trabalham em temperatura de 600 a 700 °C. Por operar à temperaturas mais elevadas não necessita de um catalisador tão nobre como a platina, podendo utilizar o níquel como catalisador. Pode ser alimentada com o gás natural diretamente. Sua eficiência é bastante elevada, podendo chegar a 85 % com co-geração. Sua aplicação é mais adequada para sistemas estacionários, tendo vários exemplos demonstrados com êxito no Japão e na Itália.

As reações básicas que ocorrem no ânodo e no cátodo deste tipo de célula são descritas à seguir:



CaC de óxido sólido (CCOS) apresenta temperatura de trabalho superior às demais, trabalhando na faixa de 650 a 1000°C. A temperatura elevada é necessária para alcançar a condutividade ideal no eletrólito. Pode utilizar como combustível o metano direto sem a necessidade de passar por um reformador. Neste sistema o combustível e o ar têm de passar por um módulo de arrefecimento. É utilizada em sistemas estacionários (National Fuel Cell Research Center, 2006).

Pode ser observado que o princípio básico de funcionamento de uma CaC é o mesmo para todas as tecnologias. Entretanto eletrólitos e temperaturas diferentes dão origem à sistemas com características próprias.

A eficiência teórica eletroquímica diminui de 86 a 70 % na faixa de temperaturas de 100 a 1000 °C. Ao passo que a eficiência de Carnot eleva-se de 0 a 70 % na mesma faixa, ultrapassando a eficiência eletroquímica somente a temperaturas superiores a 1000 °C.

Desta forma, CaC a hidrogênio apresentam eficiência teórica significativamente maior que máquinas de Carnot, principalmente a baixas temperaturas.

CaC que operam em temperaturas mais elevadas, geralmente não necessitam de um catalisador tão eficiente quanto a platina, operando à níveis satisfatórios com catalisadores como o níquel, pois as reações químicas são aceleradas com o aumento da temperatura. E por não utilizar a platina como catalisador, pode ainda consumir combustíveis menos puros sem o perigo de danificar o dispositivo, uma vez que o níquel é mais tolerante a impurezas, como o CO, do que a platina. São dispositivos usualmente utilizados para sistemas estacionários.

Já as CaC de baixa temperatura necessitam de catalisadores eficientes e combustíveis mais puros, pois a platina é facilmente contaminada com o CO. Entretanto são sistemas mais flexíveis quanto à utilização, podendo ser utilizados em sistemas portáteis.

CaC são dispositivos que poderão ser de muita importância no fornecimento de energia, tanto em sistemas móveis e portáteis. De acordo com parâmetros operacionais de um determinado sistema as CaC são adequadas para suprir a necessidade do mesmo e operar de forma mais eficiente.

Após a análise das tecnologias existentes conclui-se que, para sistemas que se pretenda utilizar combustíveis fáceis de transportar e armazenar, como metano, hidrocarbonetos e álcoois, e ainda, que se pretenda obter coogeração de energia, as melhores tecnologias são CaC de carbonato fundido e CaC de óxido sólido.

Em um trabalho futuro será analisada uma aplicação de um desses tipos de células em um sistema de cogeração de energia e, posteriormente, serão realizados estudos sobre a reforma de

etanol, uma vez que o Brasil, além de possuir várias indústrias sucroalcooleiras, apresenta boas perspectivas não só para o crescimento do setor, mas também para novas oportunidades de negócios com sub-produtos, tais como energia elétrica, créditos de carbono e, por que não, futuramente, hidrogênio.

### **Referências Bibliográficas**

ALDABÓ, R. Célula Combustível a Hidrogênio: Fonte de energia da nova era São Paulo: Artiliber Editora, 2004.

GOMES NETO, E. H. Hidrogênio, Evoluir sem poluir: a era do hidrogênio, das energias renováveis e das células a combustível. Curitiba, 2005, 240p.

HOONGERS, G. Fuel Cell Technology Handbook. 2. ed. CRC Press, 2003.

NATIONAL FUEL CELL RESEARCH CENTER. Disponível em: <<http://www.nfcrc.uci.edu>>. Acesso em: 14 Set. 2006.

WENDT, H. GOTZ, M., LINARDI, M. Tecnologia de células a combustível. Química Nova. v. 23, n. 4, São Paulo, 2000. Disponível em: <[www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-0422000000400018&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-0422000000400018&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 23 Set. 2006.

**Bolsa:** PET-SESu/MEC