

## CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL

FERNANDO ANTÓNIO CASTILHO MAMEDE DOS SANTOS\*  
FERNANDO MIGUEL SOARES MAMEDE DOS SANTOS\*\*

### Resumo

Na actualidade o consumo global de energia eléctrica é de 14 triliões de quilowathora, no ano 2020 prevê-se que deverá ser de 22.

Os combustíveis fósseis são um bem escasso, na posse de apenas alguns países, que cada vez se vão tornando mais caros e cuja utilização liberta poluentes.

Neste contexto, ter-se-á de encontrar uma forma alternativa e competitiva de produzir energia (eléctrica) que possa vir a substituir os combustíveis fósseis gradualmente. Esta pode estar nas células de combustível.

### 1. Introdução

As células de combustível já hoje são usadas em centrais de produção de energia com potências reduzidas (menos de uma dezena de MW). Ficam colocadas perto dos equipamentos consumidores, podendo assim ser consideradas uma tecnologia de geração dita distribuída.

Apostando na produção local (descentralizada) poupa-se no investimento da construção de grandes linhas de transporte de energia, na protecção destas e outros equipamentos auxiliares, bem como, na manutenção dessas infraestruturas. Um outro aspecto de economia são os custos de exploração, uma vez que as perdas energéticas, com a produção descentralizada, são consideravelmente reduzidas em linhas, nos transformadores (elevadores e abaixadores), bem como, na quantidade de aparelhagem de protecção com diminuição do número.

---

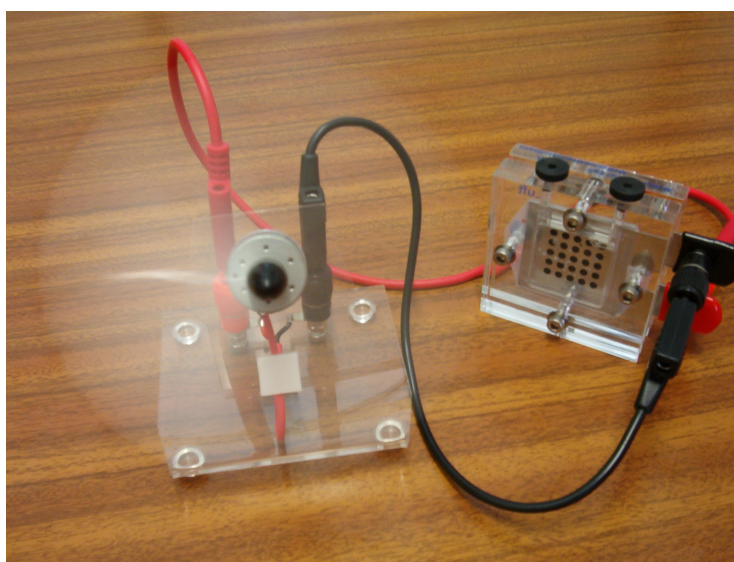
\* Professor Coordenador da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Superior Politécnico de Viseu.

\*\* Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores e Encarregado de Trabalhos da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Superior Politécnico de Viseu.

Os custos relacionados com a produção também baixam, pois o rendimento das células de combustível é substancialmente mais elevado.

A grande barreira que actualmente há a vencer tem a ver com o custo ainda elevado desta tecnologia, resultando da investigação, do preço dos materiais e dos processos de fabrico, o que tem restringido o uso da tecnologia das células de combustível. Com o decurso do tempo, eventuais novas descobertas, a produção em massa das células de combustível e em oposição uma cada vez maior escassez de fontes de energia não renováveis serão factores que irão levar a uma nova filosofia de produção energética na área da energia eléctrica.

## 2. Definição/constituição e funcionamento duma célula de combustível



**Figura 1** – Célula de combustível com alimentação directa de metanol a fornecer energia eléctrica a um pequeno motor.

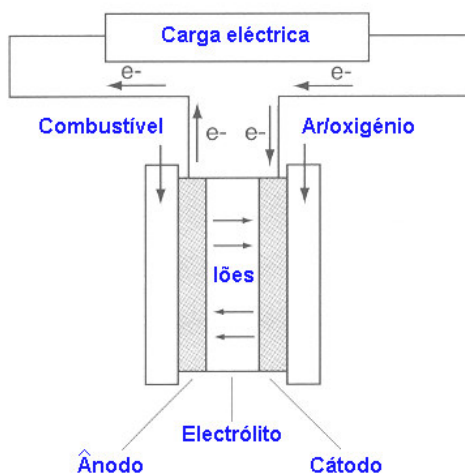
Uma célula de combustível pode ser definida como um dispositivo electroquímico que transforma continuamente a energia química em energia eléctrica (e algum calor) desde que lhe seja fornecido o combustível e o oxidante.

O combustível é o hidrogénio ou um composto que o tenha na sua constituição e o oxidante é o oxigénio.

O hidrogénio utilizado no processo pode ser obtido de várias fontes: electrólise da água, gás natural, propano, metanol, ou outros derivados do petróleo como qualquer hidrocarboneto.

Relativamente ao oxigénio é retirado do ar, podendo também ser obtido a partir da electrólise da água.

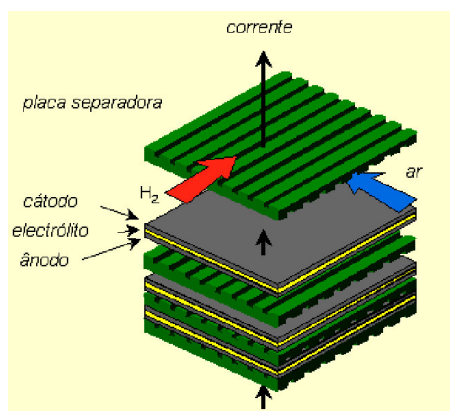
Uma célula de combustível é constituída por dois eléctrodos e entre os dois um electrólito (ver figura 2). A função do electrólito é de actuar como um meio que permite aos iões ( $H^+$ ,  $OH^-$ ,  $O^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$ , ...) passarem no sentido de um eléctrodo para o outro eléctrodo ao atravessarem o electrólito.



**Figura 2** – Princípio de funcionamento numa célula de combustível

Exteriormente existe uma ligação eléctrica entre os dois eléctrodos (ânodo e cátodo) onde é ligado o receptor (a carga).

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.



**Figura 3** – Pilha de células de combustível

Consegue-se assim, formar uma pilha de combustível em que temos a tensão de saída pretendida para uma determinada aplicação prática onde a tensão individual de cada uma das células vem multiplicada pelo número. Caso se pretenda elevar o valor da corrente que uma pilha de células de combustível pode fornecer as mesmas devem ser ligadas em paralelo.

### 3. Tipos de Células de Combustível

Os dois problemas técnicos fundamentais das células de combustível são: a baixa taxa de reacção que conduz a reduzidas intensidades de corrente e potência por área e o hidrogénio não ser um combustível prontamente disponível, pois este na natureza encontra-se sempre associado a outros elementos químicos. Com a finalidade de se resolverem estes problemas os investigadores têm experimentado muitos tipos de células de combustível.

Actualmente existem dois grupos de desenvolvimento dos principais tipos de células de combustível, classificadas segundo a temperatura de funcionamento. As células de combustível conhecidas por de metanol, não se tipificam em qualquer um destes grupos, pois apresentam características híbridas, sendo excluídas desta classificação principal dos tipos de células de combustível.

**TABELA I - GRUPOS DOS PRINCIPAIS TIPOS DE CÉLULAS, CLASSIFICADOS SEGUNDO A TEMPERATURA DE FUNCIONAMENTO.**

|                               | <b>Pilhas de combustível de baixa e média temperatura (&lt;250°C)</b>   | <b>Pilhas de combustível de alta temperatura (&gt;600°C)</b>  |
|-------------------------------|---|---|
| <b>Tecnologias aplicáveis</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alcalinas (AFC)</li> <li>- Ácido Fosfórico (PAFC)</li> <li>- Membrana de Troca de Protões (PEMFC)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Carbonatos Fundidos (MCFC)</li> <li>- Óxidos Sólidos (SOFC)</li> </ul>   |
| <b>Dimensão típica</b>        | - Produtos disponíveis no mercado e em desenvolvimento com potências até 250 kW   | - A maioria dos equipamentos em desenvolvimento têm potências na ordem de 2 MW, mas também se desenvolvem unidades com menos de 1 MW  |
| <b>Vantagens</b>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rendimento elevado</li> <li>- Emissões reduzidas</li> <li>- Arranque rápido (especialmente as PEMFC)</li> <li>- Potencial para redução significativa do custo resultante de produção em larga escala se for alcançado sucesso na área dos transportes</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rendimento muito elevado</li> <li>- Emissões reduzidas</li> <li>- Processamento de combustível mais simples</li> <li>- Não existe a necessidade de utilizar catalisadores de metais preciosos</li> <li>- Não são danificadas pelo CO</li> <li>- Potências mais elevadas</li> </ul> |
| <b>Desvantagens</b>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Potencial de cogeração limitado</li> <li>- Processamento de combustível relativamente complexo</li> <li>- Mais sensíveis ao CO</li> <li>- Requerem catalisadores de metais preciosos</li> <li>- Custo elevado (PAFC)</li> </ul>                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mercado limitado inicialmente à produção de electricidade (o que reduz o potencial para a redução do custo)</li> <li>- Complexidade dos sistemas híbridos</li> </ul>   |

#### **4. Sistemas Auxiliares das Pilhas de Células de Combustível**

Os sistemas auxiliares requeridos dependem em grande parte do tipo de pilha de célula de combustível e do combustível usado.

Em todas as pilhas de células de combustível, menos nas de menores dimensões, o ar e o combustível precisam de circular pelos canais das células com a ajuda de sopradores ou bombas. Por vezes são usados compressores, podendo ser estes acompanhados pelo uso de “intercoolers” como nas máquinas de combustões internas.

Os motores eléctricos também são necessários e são uma parte vital de um sistema de pilha de células de combustível, pois são responsáveis por colocarem em funcionamento as bombas, os sopradores e os compressores mencionados antes.

As células de combustível produzem energia em DC (corrente contínua), com uma variação de tensão considerável conforme a potência solicitada, o que raramente será satisfatório para ligação directa a uma carga eléctrica, e assim algum tipo de condicionamento da saída de potência é quase sempre necessário. Este pode ser feito por um simples regulador da tensão ou por um conversor DC/DC. No caso de se pretender fornecer a carga em CA (corrente alternada) é necessário um inversor de DC para CA o que representa uma parte significativa dos custos do sistema.

Nas pilhas de células de combustível e especialmente nas de maiores dimensões recorre-se frequentemente a sistemas de cogeração, fazendo com que a pilhas de células de combustível pareça ser na realidade uma pequena e insignificante parte do sistema interno.

Um conjunto variado de outros sistemas de apoio como os relacionados com o armazenamento do combustível e oxidante, sistemas de purificação do combustível, sistemas de controlo e gestão em tempo real, etc..., podem fazer parte dum sistemas de pilha de células de combustível.

A título exemplificativo a figura 4 abaixo mostra um esquema de vários componentes auxiliares necessários ao funcionamento de uma célula de combustível de 250 kW eléctricos da Ballard.

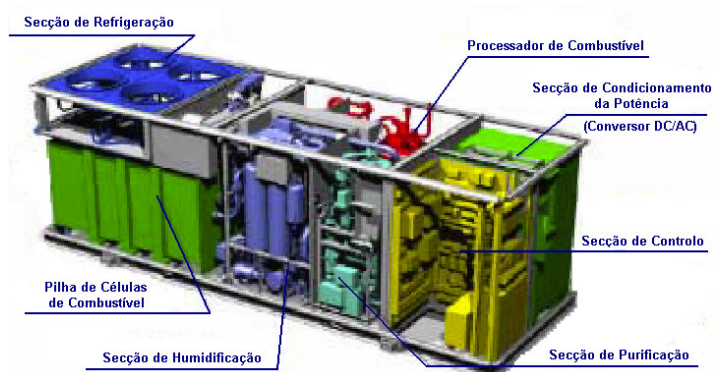


Figura 4 – Sistema de produção de Energia da Ballard

De forma resumida apresenta:

O Processador de combustível: Extrai o hidrogénio do combustível fóssil.

A Secção de purificação: Retira os contaminantes que podem danificar a célula.

A Secção de humidificação: Coloca um certo grau de humidade no combustível de forma a evitar a destruição das membranas das células.

A Pilhas de células de combustível: Dá-se a produção de energia em DC.

A Secção de refrigeração: Remove o calor.

A Secção de condicionamento: Estabiliza a tensão DC e pode converte-la em AC.

A Secção de controlo: Supervisiona e gere todo o sistema.

### **5. Principais vantagens/ desvantagens das células de combustível**

Os aspectos favoráveis dos sistemas de células de combustível são poderem ser feitas em pequenas unidades modulares, em grandes quantidades, facilmente transportáveis e montadas num determinado local em um intervalo de tempo muito reduzido. Se por qualquer motivo deixarem de ser necessárias no local, poderão num curto espaço de tempo ser facilmente deslocada para outro onde exista défice de energia.

Do processo de funcionamento normal das pilhas de células de combustível gera-se uma quantidade significativa de calor que pode ser aproveitado para produzir vapor ou água quente. Esta optimização permite que haja um aumento da eficiência do sistema.

Toda a transformação de energia tem uma perda associada assim, quanto menores forem as transformações, melhor é o rendimento. Nas células de combustível existe uma transformação directa da energia química em eléctrica, o que é uma vantagem face as tecnologias convencionais de produção de energia eléctrica.

Um factor positivo das células de combustível é a sua simplicidade em termos de princípios de funcionamento, com a inexistência de movimento mecânico no interior desta e com a conversão directa da energia.

Quando é usado o hidrogénio como combustível os subprodutos da reacção são o calor e a água pura, o que significa que a pilha de combustível pode ser vista como tendo “zero emissões”. Mas mesmo quando se usam os combustíveis fósseis os níveis de poluição são consideravelmente mais baixos, devido ao elevado rendimento deste tipo de tecnologia que permite reduções no consumo destes combustíveis.

A conversão directa da energia e a inexistência de movimento mecânico no interior da pilha pode conduzir a sistemas altamente seguros e de longa duração.

As desvantagens têm a ver com os custos de investigação, dos materiais usados na produção das células e dos processos de fabrico.

O conhecimento destas encontra-se num número limitado de pessoas.

Existe uma falta de infra-estruturas para a produção, transporte e armazenamento do combustível hidrogénio e as poucas infra-estruturas que existem estão viradas para a indústria química em geral.

Uma outra questão negativa tem a ver com a produção do hidrogénio que recorre ao uso intensivo de energia e deriva muitas vezes dos combustíveis fósseis.

O combustível, consoante o tipo de célula de combustível em questão, necessita de estar livre de determinados contaminantes, senão as células de combustível podem ver a sua performance reduzida, podendo em casos extremos deixarem de funcionar.

A existência de sistemas auxiliares que apoiam a pilha de células de combustível têm componentes sujeitos a avarias, cuja falha de um deles pode comprometer todo o processo de energia. Logicamente estes sistemas aumentam também as necessidades de manutenções.

### **Conclusões**

As pilhas de células de combustível são máquinas electroquímicas, produzem eletricidade convertendo energia química em potência eléctrica sem movimento rotativo, nem combustão.

Existem vários tipos de pilhas de células de combustível, mas o funcionamento básico é o mesmo. Todas têm dois eléctrodos (um ânodo e um cátodo) separados por um material denominado electrólito. Na maioria das pilhas de células de combustível o ânodo é alimentado com hidrogénio, onde se ioniza gerando protões e electrões. Os protões atravessam o electrólito para chegar ao cátodo, entretanto os electrões circulam por um circuito externo (produzindo uma corrente eléctrica na rede externa) indo para o cátodo da célula de combustível. No cátodo, os electrões, os protões e o oxigénio reagem formando água.

É uma tecnologia que começa a aparecer cada vez mais, que comparativamente com outras tecnologias tradicionais de produção proporciona alta eficiência (mesmo para potências baixas) e reduzidas emissões acústicas. As pilhas de células de combustível são amigas do ambiente, pois mesmo com a utilização de um combustível fóssil, não produzem gases nocivos que contribuem para o aparecimento das chuvas



ácidas, nem libertam partículas poluentes que ponham em risco a qualidade do ar, nenhum hidrocarboneto é derramado durante operação normal, e comparando com o dióxido de carbono libertado com as outras tecnologias que usam este tipo de combustível, mesmo com as mais eficientes o valor é bastante menor.

Permitem aumentar ou diminuir a potência de operação (capacidade de regulação) respondendo rapidamente à carga, são simples de instalar, tem versatilidade de fontes na alimentação. Combustíveis fósseis (petróleo, óleo, gás natural,...), hidrogénio puro produzido por electrólise (energia vinda de fontes renováveis como sol, o vento, a água,...), a biomassa, etc..., podem ser usados como fonte de combustível.

Para além destas vantagens, é de lembrar que esta é uma tecnologia revolucionária por apresentar elevados índices de qualidade de energia, bem como permitir um funcionamento contínuo sem interrupção durante um número de horas bastante superior ao das tecnologias tradicionais.

Estas características permite-lhes que sejam usadas em equipamento sensível a variações de corrente e tensão nomeadamente: hospitais, centros de tratamentos de dados, bancos, esquadras de polícia e qualquer outro tipo de instalações com missões importantes, servindo por vezes de gerador de emergência de forma a que a carga básica seja alimentada. Locais remotos sem acesso para a rede de eléctrica são bons candidatos ao uso das pilhas de células de combustível. As Instalações poderão fazer o uso efectivo de calor, usando aquela energia que se liberta aumentando a eficiência do sistema.

Sendo assim alguns dos tipos de pilhas de células de combustível podem fornecer a oportunidade para fazer a transição dos combustíveis fósseis, como gás natural, metano, e hidrocarboneto líquidos, para o que muitos consideram ser o combustível do futuro: hidrogénio.

Mas nem tudo corre a favor destas, pois os custos actuais entre os \$3,000 a \$4,000 por kW, as pilhas de células de combustível não estão acessíveis a todos, sendo a principal barreira para a implementação destas. É estimado que o custo de instalação de uma pilha de células de combustível terá que chegar a \$1,500 por kW, para que passem a ser usadas em larga escala na maioria das aplicações. Outras barreiras apontadas são a falta de experiência em termos de durabilidade ao longo do tempo da maior parte destas tecnologias de pilhas de células de combustível e a necessidade de se estabelecer uma infra-estrutura para apoiar esta tecnologia. A viabilidade desta tecnologia segundo especialistas da área poderá chegar dentro de 2 a 3 anos.

## Bibliografia

1. Fernando Miguel Soares Mamede dos Santos, *Células de Combustível: Uma Tecnologia para a Geração Distribuída*, Dissertação de Mestrado apresentada na Universidade de Coimbra orientada pelo Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, 2003.
2. Fernando Miguel Soares Mamede dos Santos, *A Geração Distribuída e as Células de Combustível*, trabalho da disciplina de Seminário de Sistemas de Energia do MEEC da FCTUC orientado pelo Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Setembro de 2002.
3. Fernando Miguel Soares Mamede dos Santos, *Estudo da tecnologia do hidrogénio "PEM" aplicada à produção de energia eléctrica*, trabalho da disciplina de Laboratório de Sistemas de Energia do MEEC da FCTUC orientado pelo Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Setembro de 2002.
4. Artur D. Little Inc, "*Opportunities for Micropower and Fuel Cell / Gas Turbine Hybrid Systems in Industrial Applications*".
5. Peter Schilken, "Nouvelles Technologies de Petite Cogénération", *ADEME/Energie-cités*, Abril de 2001.
6. Dr. Gunter R. Simader, "Fuel Cell Technologies for Natural Gas-Part II", *EVA- the Austrian Energy Agency*, [http://www.eva.wsr.ac.at/publ/pdf/fuelcell\\_gas2.pdf](http://www.eva.wsr.ac.at/publ/pdf/fuelcell_gas2.pdf), Lisboa 21 de Novembro de 2001.

7. Tom Koppel e Jay Reynolds, "A Fuel Cell Primer: The Promise and the Pitfalls", Maio 2001, ISBN 0-471-64629-6.

8. Gregor Hoogers, "Fuel Cell Technology Handbook", *CRC PRESS*, Boca Raton (Florida), 2003.

9. "HYDROGEN The Fuel for the Future", *U.S. Department of Energy (DOE)*, Março 95.

10. Lorin Philipson e H. Lee Willis, "Understanding Electric Utilities and De-Regulation", *ABB Electric Systems Technology Institute Raleigh*, North Carolina, 2000, ISBN: 0824719204.



Carro movido a células de combustível apresentado em Hannover (2003)