



Sustentabilidade: A tecnologia do Hidrogênio na geração de energia elétrica.

Everton Bonturim^(1, a, *); Reinaldo Azevedo Vargas^(2, a); Marco Andreoli^(3, a); Emília Satoshi Miyamaru Seo^(4, a, b)

Químico, Mestrando
Engenheiro, Doutorando
Técnico
Doutora, pesquisadora

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES, IPEN-CNEN/SP. Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais – CCTM.

^(b) Centro Universitário SENAC/SP

*Av. Professor Lineu Prestes, 2242, Cid. Universitária, São Paulo/SP, 05508-000.

* ebonturim@ipen.br

RESUMO

Atualmente a sociedade vem se preocupando cada vez mais com os problemas ambientais causados pelo seu próprio desenvolvimento não sustentável. Com os avanços tecnológicos, também vieram as máquinas, as fábricas, os automóveis e, com tudo isso, o desejo de avançar cada vez mais. Esse tema nos remete ao foco da tecnologia de desenvolvimento de Células a Combustível (CaC), um sistema de geração de energia elétrica, com baixa emissão de poluentes associada a uma alta eficiência, se comparada ao motor a combustão, por exemplo. A necessidade de avançarmos no âmbito de geração e distribuição de energia se tornou uma tendência mundial e os estudos voltados para a melhora na produção de energia pode favorecer o sistema sustentável. A tecnologia de Células a Combustível (CaCs) é apresentada neste artigo como um instrumento de adaptação as nossas necessidades e demandas, contribuindo para o uso de recursos mais limpos e renováveis, tais como o Hidrogênio.

Palavras-chave: Células a Combustível, Sustentabilidade, Geração de energia.

ABSTRACT

Currently the society has been increasingly concerned with environmental problems caused by its own unsustainable development. With technological advances, also came the machines, factories, automobiles, and with all this, the desire to move more and more. This theme reminds us to focus the technology development of fuel cells (FC), a system of power generation with low emissions associated with a high efficiency, compared to the combustion engine, for example. The need to move in generation and distribution has become a worldwide trend and studies aimed at the improvement in energy production can encourage sustainable system. The technology of fuel cells (CACs) is presented in this article as an instrument of adaptation to our needs and demands, contributing to the use of cleaner and renewable resources, such as hydrogen.

Keywords: Fuel Cells, Sustainability, Power Generation.



INTRODUÇÃO

Começamos a observar o mundo com outra visão, principalmente depois que tivemos a certeza de que não estamos no caminho certo. Muitos de nós já ouvimos falar de sustentabilidade, um termo que de maneira sobrecarga de conceitos, acabou se tornando pouco descritivo. Na lógica do desenvolvimento, em busca de uma sociedade moderna e financeiramente estável, traçamos um caminho que pouco respeitou os recursos naturais finitos, usando-os como ferramentas para se atingir um objetivo maior, o progresso.

O dinamismo de um sistema como o nosso planeta é algo que dificilmente podemos prever, mas certamente já temos uma avaliação da situação atual, temos um grande problema com a gestão de recursos naturais e a sua aplicação de forma pouco limpa e eficiente. As ações sustentáveis que esperamos atingir com a implementação de uma tecnologia de geração de energia menos poluente, mais eficiente e eficaz podem contribuir para com o desenvolvimento de uma sociedade melhor adaptada as condições e recursos disponíveis no planeta sem prejudicar o equilíbrio natural dos mesmos.

Nesse sentido, este artigo tem como objetivo apresentar, de forma clara e abrangente, o uso da tecnologia de Células a Combustível como meio favorável a diminuição do consumo de combustíveis fósseis em substituição por um vetor energético menos poluente, o Hidrogênio. Além disso, apresentar as principais características da utilização do Hidrogênio em prol de um desenvolvimento mais limpo e democrático, no sentido da disponibilidade desse recurso em todo o planeta.

O MUNDO DEMANDA SUSTENTABILIDADE

O mundo de hoje em dia só fala e discute a respeito de sustentabilidade. Porém, para construir um que seja realmente sustentável, devemos mudar a forma como geramos nossa energia, principalmente a energia que é obtida com o uso dos combustíveis fósseis, como o petróleo.

O conceito de sustentabilidade está diretamente relacionado com a continuidade dos aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais de toda a sociedade humana, abrangendo vários níveis de organização: desde um único indivíduo, seus parentes e amigos, passando pela vizinhança local até o planeta como um todo e possui como objetivo ser um meio de configurar a civilização e todas as atividades humanas de tal forma que a sociedade, todos os seus membros e suas economias possam preencher as suas necessidades e expressar o seu maior potencial, ao mesmo tempo em que preserve a biodiversidade e os ecossistemas naturais, planejando e agindo para atingir eficiência na manutenção de todos esses ideais (ACSELRAD, 1999, p.79; DIEGUES, 1992, p.22; JACOBI, 2003, p.189).

A sustentabilidade depende da forma como utilizamos a energia elétrica atualmente e, por isso, está intimamente ligada com o desenvolvimento de tecnologias que geram energia alternativa de forma limpa, eficiente, segura e com custo acessível. As células a combustível são um desses dispositivos, gerando a energia que precisamos, utilizando hidrogênio, não gerando poluentes e abrindo novos horizontes para construir um mundo realmente sustentável (BROUWER, 2010), (STAMBOULI, A.B.; TRAVERSA, E., 2002), (CHEN et al., 2011).



AS CÉLULAS A COMBUSTÍVEL

O termo Célula a Combustível, também conhecido no Brasil como Pilha a Combustível, começou a ser pronunciado atualmente com maior frequência, embora esta tecnologia ainda não esteja bem estabelecida comercialmente. Estas células produzem eletricidade de uma forma mais ecológica, praticamente sem emissão de substâncias nocivas ao meio ambiente.

As células a combustível são conhecidas pela ciência há mais ou menos 150 anos. Embora tenham sido consideradas uma grande curiosidade do século XIX, elas foram alvos de intensas pesquisas inicialmente durante a Segunda Guerra Mundial. Entretanto, por volta de 1800, os cientistas britânicos William Nicholson e Anthony Carlisle descreveram o processo de usar a eletricidade para decompor a água (H₂O) em moléculas de hidrogênio (H₂) e oxigênio (O₂) em um processo conhecido como Eletrólise da Água. A primeira suposta célula desse tipo foi construída em 1801, por Humphrey Davy. Os estudos se intensificaram realmente um pouco mais adiante, com o advogado e cientista inglês Sr. William Robert Grove em 1839. Ele teve uma ideia durante os seus experimentos com a eletrólise da água imaginando de que forma seria o processo inverso desta reação, ou seja, reagir hidrogênio com oxigênio, formando água e gerando eletricidade. O termo, “Célula a Combustível” foi empregado pela primeira vez por Ludwig Mond e Charles Langer, em 1889 (VILLULLAS, et. al. 2002).

O cientista e fundador do campo da físico-química, Friedrich Wilhelm Ostwald, contribuiu com muitas das teorias sobre essas células. Em 1893, ele determinou experimentalmente os mecanismos de funcionamento de vários componentes de uma célula.

Na primeira metade do século XX, o cientista suíço Emil Baur, juntamente com seus estudantes, conduziu uma grande quantidade de pesquisas com vários tipos de tecnologias de células a combustível. No final da década de 1930, Francis Thomas Bacon começou pesquisando células de eletrólito alcalino de alta pressão. Durante a Segunda Guerra Mundial, Bacon trabalhou no desenvolvimento de células que foram testadas nos submarinos da Marinha Inglesa.

Embora fossem extremamente caras, as células de Francis Bacon provaram ser suficientemente confiáveis para atrair a atenção da Pratt & Whitney. Esta empresa se uniu com a Energy Conversion, que tinha Bacon como consultor e licenciou o trabalho dele para utilizá-lo no desenvolvimento de um sistema de geração de energia para as missões espaciais Gemini e Apollo da NASA. Após as missões, a construção de novas células alcalinas operando em altas pressões foi paralisada e tornou-se evidente, levando em conta esse tipo de célula, que sua comercialização tinha como principais obstáculos o alto custo e a pequena vida útil (KORDESCH, et. al., 1996).

Entenda a Tecnologia

É interessante perceber que os estudos com células a combustível (CaC) podem ser considerados antigos, embora a evolução dessa tecnologia tenha sido paralisada devido a avanços em tecnologias dependentes de derivados do petróleo. Mais tarde, com os problemas ambientais que a sociedade passou a sofrer em decorrência do aquecimento global, e com novas políticas de preservação do meio ambiente, além da busca de um planeta sustentável, a comunidade acadêmica, empresas automobilísticas e outras empresas, reativaram as pesquisas. Atualmente, as células a combustível (CaC) apresentam grande evolução em durabilidade, diminuição dos custos e são uma das principais soluções energéticas ambientalmente amigáveis. É só uma questão de tempo para que esta tecnologia esteja fazendo parte da vida das pessoas como ocorreu com os computadores pessoais.

As CaCs pode ser conceituada como sendo um dispositivo eletroquímico que converte diretamente a



energia química fornecida por um combustível e por um oxidante em energia elétrica e vapor de água, que ainda fornece energia térmica (calor) para diversas finalidades, inclusive para gerar mais energia elétrica.

A estrutura básica de uma célula unitária consiste de uma camada de eletrólito (centro da célula) em contato com mais duas camadas (ânodo e cátodo), um de cada lado, como se fosse uma pilha. O ânodo (eletrodo negativo) é alimentado continuamente com um gás combustível (idealmente hidrogênio), enquanto o cátodo (eletrodo positivo) recebe um gás oxidante (oxigênio do ar). A reação eletroquímica que ocorre produz o que conhecemos como corrente elétrica. Um esquema dos componentes é mostrado na figura 1.

Para entender melhor, vamos fazer uma analogia com uma pilha ou bateria convencional. Ambas possuem duas extremidades, uma positiva e a outra, negativa e em seu interior, existe um reagente químico para reagir e gerar carga elétrica para uma determinada aplicação. Na célula a combustível, a extremidade negativa é o ânodo e a positiva o cátodo. Enquanto uma pilha ou bateria convencional acumula e libera energia elétrica armazenada quimicamente, uma célula a combustível produz energia a partir da reação entre um combustível e o oxigênio, alimentados de forma contínua. A pilha ou bateria, eventualmente irá deixar de ter energia, tendo por isso de ser recarregada ou inutilizada, enquanto que a célula a combustível continuará a funcionar e a produzir energia, até que lhe seja interrompido o fornecimento de combustível ou oxigênio.

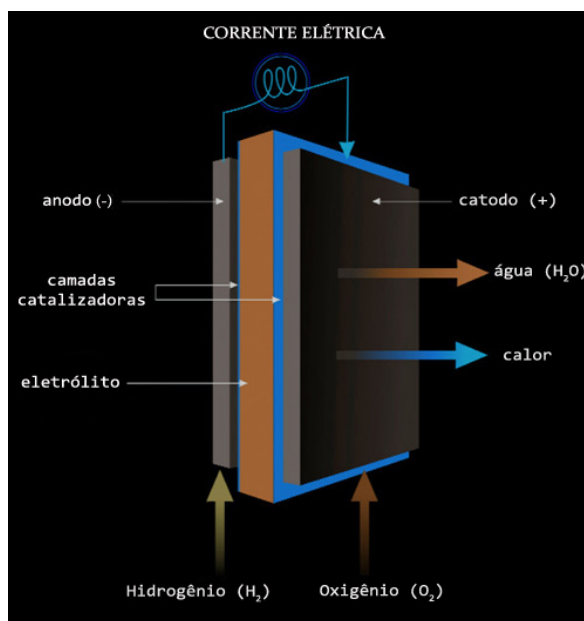


Fig. 01 – Esquema simplificado dos componentes de uma célula unitária de Célula a Combustível. Adaptado de: http://www.hydrogenfuelcelluk.com/images/cell_diagram_small.jpg

As células a combustível, de uma forma geral, não possuem aplicações práticas utilizando somente células unitárias, pois existe a necessidade de quantidades adequadas de potência (Watt) para nossas aplicações, e por isso, devem ser conectadas em série para produzir as quantidades de voltagens requeridas. Uma série dessas células recebe a denominação de stack, ou empilhamento. Um componente conhecido como interconector ou separador bipolar conecta o ânodo de uma célula ao cátodo da célula seguinte. Os stacks podem ser configura-



dos em série, paralelo, em ambos, ou em unidades simples, dependendo da aplicação a que serão solicitados.

A grande vantagem do uso das células a combustível está em sua alta eficiência e na ausência de emissão de compostos poluentes quando se utiliza o hidrogênio em seu estado mais puro. É também uma forma de geração de energia silenciosa e extremamente confiável (LINARDI, 2010).

Tipos de Células a Combustível

Existe atualmente uma grande variedade em tecnologia de Células a Combustível, diferenciada principalmente pelo tipo de eletrólito empregado e pela temperatura de operação, como é mostrado na tabela 1.

Tabela 01 – Principais tipos de Células a Combustível

Tabela 1. Tipos de Células a Combustível.

Tipo	Eletrólito (espécie transportada)	Faixa de Temp. (°C)	Vantagens	Desvantagens	Aplicações
Alcalina (AFC)	KOH (OH ⁻)	60 - 90	- Alta eficiência (83% teórica)	- Sensível a CO ₂ - Gases ultra puros, sem reforma do combustível	- Espaçonaves - Aplicações militares
Membrana (PEMFC)	Polímero: Nafion® (H ₃ O ⁺)	80 - 90	- Altas densidade de - Operação flexível	- Custo da membrana potência e eficiência - Contaminação do catalisador com CO	- Veículos automotores e catalisador - Espaçonaves - Mobilidade
Ácido fosfórico (PAFC)	H ₃ PO ₃ (H ₃ O ⁺)	160 - 200	- Maior desenvolvimento tecnológico	- Controle da porosidade do eletrodo - Sensibilidade a CO - Eficiência limitada pela corrosão	- Unidades estacionárias - Unidades estacionárias (100 kW a alguns MW) - Cogeração eletricidade/calor
Carbonatos fundidos (MCFC)	Carbonatos Fundidos (CO ₃ ²⁻)	650 - 700	- Tolerância a CO/CO ₂ - Eletrodos à base de Ni	- Problemas de materiais - Necessidade da reciclagem de CO ₂ - Interface trifásica de difícil controle	- Unidades estacionárias de algumas centenas de kW - Cogeração eletricidade/calor
Cerâmicas (SOFC)	ZrO ₂ (O ²⁻)	800 - 900	- Alta eficiência (cinética favorável) - A reforma do combustível pode ser feita na célula	- Problemas de materiais - Expansão térmica - Necessidade de pré-reforma	- Unidades estacionárias de 10 a algumas centenas de kW - Cogeração eletricidade/calor

Fonte: WENDT, Hartmut; GOTZ, Michael and LINARDI, Marcelo. Tecnologia de células a combustível. Quím. Nova [online], vol.23, n.4, p. 538-546, 2000.

De um modo geral, dentro da célula a combustível, o gás hidrogênio (H₂) pressurizado é bombeado para o terminal negativo, o ânodo. O gás é forçado a atravessar o catalisador (substância que acelera a velocidade de uma reação química). Quando a molécula de hidrogênio entra em contato com o catalisador, ela se separa em dois íons de hidrogênio (H⁺) e dois elétrons (e⁻) (H₂ → 2H⁺ + 2e⁻). Os elétrons são conduzidos pelo ânodo, contornando o eletrólito até atingirem o circuito externo, onde, por exemplo, acendem uma lâmpada ou acionam um motor elétrico, retornando depois para o terminal positivo, o cátodo.

O oxigênio (O₂), extraído do ar, entra na célula pelo terminal positivo, o cátodo. O gás é forçado a se dispersar no catalisador. O catalisador separa a molécula de oxigênio em dois átomos de oxigênio. Cada átomo de oxigênio atrai dois íons H⁺ pelo eletrólito. Estes íons H⁺ se combinam com o átomo de oxigênio mais dois elétrons



provenientes do circuito externo, para formar a molécula de água ($O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$) e liberar energia. Após a reação, se tem então o vapor de água. O vapor pode ser utilizado para aquecimento, ou ser integrado a uma turbina ou micro-turbina a vapor para gerar mais eletricidade (processo conhecido por co-geração).

HIDROGÊNIO COMO VETOR ENERGÉTICO

O hidrogênio é o mais simples e abundante elemento químico do universo. Compõe 75% da massa e 90% das moléculas, existentes. Em seu estado natural e sob condições normais é um gás incolor, inodoro e insípido. Possui grande capacidade de armazenar energia e, por este motivo, sua utilização como fonte renovável de energia elétrica e térmica vem sendo amplamente pesquisada. Se produzido a partir de fontes renováveis (etanol e água, por exemplo) ou de tecnologias renováveis, como a energia hidráulica, torna-se um combustível ecologicamente correto.

O Hidrogênio quando queimado com oxigênio puro, os únicos produtos de reação são calor e água. Quando queimado com ar, constituído por cerca de 68% de nitrogênio, alguns óxidos de nitrogênio (NOX) são formados. Mesmo assim, a queima de hidrogênio desse modo produz muito menos poluentes atmosféricos que a queima de combustíveis fósseis.

A grande parte de hidrogênio produzido atualmente é utilizada como matéria-prima para fabricação de produtos como fertilizantes derivados de amônia, na hidrogenação de óleos orgânicos comestíveis feitos de sementes de soja, peixes, amendoim e milho, para converter o óleo líquido em margarina, fabricar o polipropileno e resfriar geradores e motores (Figura 02). Quando está ligado em compostos orgânicos e na água, constitui 70% da superfície de nosso planeta. A quebra destas ligações nos permite produzi-lo e então utilizá-lo como um combustível.

Muitas vezes, o hidrogênio utilizado na célula a combustível não está na sua forma mais pura. Ele se encontra na forma de hidrocarbonetos misturados a outros elementos presentes dentro de um combustível e tem que ser extraído. Nesse processo é utilizado um reformador, equipamento capaz de extrair o hidrogênio de uma fonte como, por exemplo, o gás natural.

Atualmente, metade da produção de hidrogênio no mundo provém do gás natural, e a maior parte da produção em escala industrial é pelo processo de reforma a vapor. Outros métodos conhecidos de produzir hidrogênio são: eletrólise da água, eletrólise a vapor e processos fotoeletroquímicos, biológicos e fotobiológicos utilizando bactérias e enzimas.

Armazenamento de Hidrogênio: o desafio

Se um desafio do hidrogênio é a sua produção, outro é como armazená-lo; um dos principais obstáculos para o estabelecimento de uma infra-estrutura (Figura 02). Além da questão de segurança, a capacidade de armazenamento é importante, pois o hidrogênio tem a menor densidade no estado gasoso e o segundo ponto de ebulição mais baixo de todas as substâncias conhecidas. Com essas características, temos dificuldades para armazená-lo. Quando em forma de gás, necessita de um sistema de contenção de grande volume e, no estado líquido, precisa da utilização de sistemas criogênicos, ou seja, operando em baixíssima temperatura (aproximadamente -253°C) (NETO, 2005).

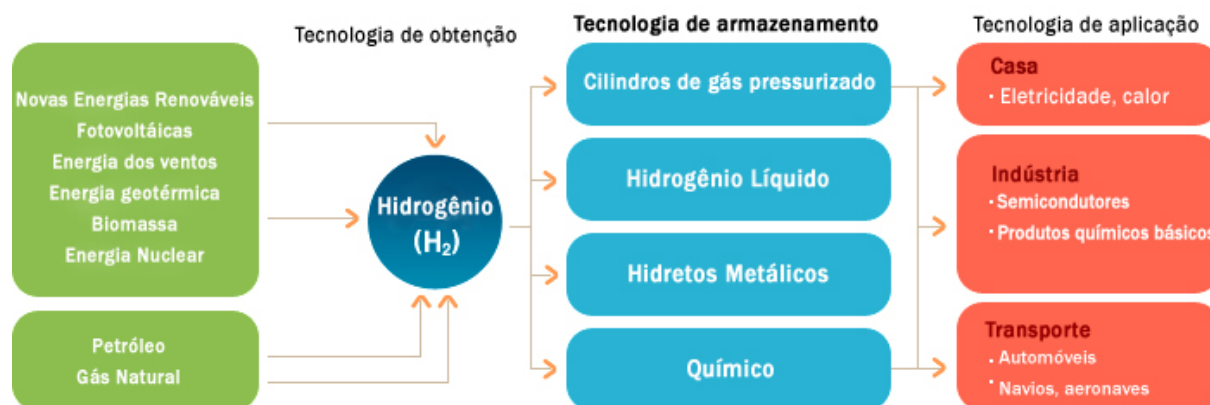


Fig. 02 – Infraestrutura para obtenção, armazenamento e utilização do Hidrogênio. Adaptado de: http://hcc.hanwha.co.kr/english/pro/ren_hsto_idx.jsp

A baixa densidade do hidrogênio, seja no estado líquido ou gasoso, também resulta em uma baixa densidade de energia. Por isso, certo volume de hidrogênio contém menos energia que o mesmo volume de qualquer combustível em condições normais de temperatura e pressão (0°C/1atm). Isto faz com que o volume ou a pressão do tanque aumente, pois certa quantidade de hidrogênio é necessária para que um veículo atinja uma boa autonomia. A vantagem de utilizá-lo numa célula a combustível é a alta eficiência desta tecnologia com relação aos motores à combustão interna, precisando de menos combustível para realizar o mesmo resultado.

Existem atualmente cinco meios principais de se armazenar o hidrogênio: reservatórios de gás hidrogênio comprimido; reservatórios para hidrogênio líquido; hidretos metálicos; adsorção de carbono e micro-esferas. Além desses tipos de armazenamento, existem pesquisas para compressão de hidrogênio em cilindros que suportem altíssimas pressões (ZÜTTEL, 2003).

Algumas restrições existem para armazenamento de combustível em larga escala. Uma opção seria armazenar o hidrogênio em tanques subterrâneos, onde se poderia aproveitar a experiência obtida com o desenvolvimento de armazenamento de gás natural.

Nos setores de distribuição e entrega, o capital de investimento é o maior empecilho para uma economia baseada no hidrogênio. Sistemas de distribuição de gás já existem em algumas partes dos Estados Unidos em redes de gasodutos e entregas diretas por meio de transporte de superfície. Mas se comparado aos gasodutos de gás natural, a rede de hidrogênio é cerca de 300 vezes menor. Tecnicamente, os gasodutos de hidrogênio não são diferentes dos de gás natural quando se fala em instalação e manutenção, mas a diferença está realmente em seu custo.

Embora o hidrogênio seja inflamável, a sua dispersão rápida faz com que raramente atinja uma concentração de combustão ao ar livre ou em espaços fechados, mas ventilados. Diversas pesquisas demonstram que o hidrogênio apresenta menos riscos referentes à segurança com seu uso que outros combustíveis, incluindo a gasolina, o propano, o diesel, o álcool e também o gás natural. Se for manejado adequadamente, o ciclo de vida do hidrogênio deverá ser mais seguro que todos os outros. A produção e transporte seriam de menor risco, já que linhas de dutos e caminhões de hidrogênio apresentam menos riscos públicos que caminhões pipa com petróleo.

O hidrogênio pode se tornar uma importante fonte de energia no futuro. Uma das principais razões, por exemplo, de não termos uma produção em massa de automóveis abastecidos por hidrogênio é exatamente pela falta de infra-estrutura. Entretanto, algumas iniciativas de se criar estradas com postos de hidrogênio estão sendo desenvolvidas nos Estados Unidos, Europa e Japão.

Sabe-se que ainda estamos caminhando para uma infra-estrutura de comercialização do hidrogênio, mais investimentos estão ocorrendo em pesquisas sobre armazenamen-



to e transporte do mesmo. Grandes empresas de energia, como a Petrobrás, Shell, BP, TotalFina-Elf, ARAL, Texaco e entre outras, estão investindo bilhões de dólares para encontrar soluções que viabilizem esta infra-estrutura, juntamente com montadoras de automóveis e muitos governos.

No Brasil, o etanol deverá ser a principal fonte de hidrogênio, primeiro pela infra-estrutura já montada para este combustível, depois porque o país é atualmente o segundo maior produtor de etanol no mundo, com tendências de crescimento devido ao aumento de exportação e em também por ser uma fonte de energia renovável. Por estes motivos, diversas pesquisas sobre produção, armazenamento e distribuição de hidrogênio, além de células a combustível que utilizem o etanol e a biomassa como fontes de combustível estão sendo realizadas.

BENEFÍCIOS SUSTENTÁVEIS

Um automóvel com alto desempenho e sem liberação de poluentes na atmosfera é uma importante solução para o problema da qualidade do ar nos grandes centros urbanos. Os **principais benefícios ambientais são: minimizar nossa dependência em produtos derivados do petróleo; emitir menos gases causadores do efeito estufa; possuir mais eficiência na geração e consumo de energia e reduzir o armazenamento de pilhas e baterias nos aterros sanitários.**

Uma grande quantidade de células a combustível instalada numa determinada região, por exemplo, traria benefícios como maior segurança em energia, melhora na qualidade do ar e do meio-ambiente. Consumidores de energia elétrica e também as próprias companhias de energia poderão aproveitar os benefícios através da melhora na confiabilidade do sistema elétrico, diminuindo principalmente diversos problemas de linhas de transmissão.

A comercialização em massa representa uma excelente oportunidade de desenvolvimento econômico para o país e, as regiões que adotarem esta tecnologia poderão criar indústrias de desenvolvimento, fabricantes, fornecedores, comerciantes e companhias de manutenção, além de gerar muitos benefícios sociais, como: redução da emissão de poluentes no ar e melhora na qualidade da saúde, especialmente em áreas urbanas que já apresentam problemas de baixa qualidade do ar, como a cidade de São Paulo; redução da emissão de gases causadores do efeito estufa (GEE); crescimento econômico, desenvolvimento e criação de empregos; redução da sobrecarga nas linhas de transmissão, possibilitando direcionar os investimentos para outras áreas, como a geração de energia distribuída, melhorando a eficiência energética; aumento da segurança de energia; **redução da poluição atmosférica** e diminuição dos prejuízos na agricultura através da redução da chuva ácida e dos níveis de concentração de ozônio próximo à superfície; redução da poluição sonora, da contaminação do lençol freático e da emissão de partículas poluidoras na atmosfera.

No Brasil, país com enorme potencial energético em várias fontes de energia, no qual a energia hidráulica se destaca, diversas pesquisas envolvendo células a combustível estão caminhando por meio da iniciativa de algumas empresas, institutos de pesquisa e universidades, apoiadas financeiramente por agências de fomento, concessionárias de energia e pelo governo.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

As bases apresentadas neste texto nos permitem avaliar as necessidades e condições que temos para alavancar um sistema realmente sustentável no âmbito das aplicações da energia renovável e não emissora de gases de efeito estufa (GEE). Sobre os aspectos relevantes que devemos levar em consideração, podemos destacar a utilização das Células a Combustível como parte integrante e complementar ao nosso sistema de fornecimento de energia, sob um ponto de vista mais sustentável e ambientalmente correto.

Os desafios a serem transpostos para a obtenção e armazenagem de Hidrogênio resumem-se em segurança e eficiência, sabemos que as tecnologias disponíveis já podem criar sistemas seguros, mas precisamos atingir um nível maior de eficiência em estocagem e distribuição, principalmente devido às características deste vetor energético.

O uso de um sistema que favoreça a distribuição e energia por todo o país, como é o caso das Células a Combustível, pode favorecer a população que vive distante dos grandes centros urbanos, aonde as linhas de transmissão não chegam. A possibilidade de manter esse dispositivo com um vetor energético encontrado em todo o mundo também pode ser considerada como estratégia para um desenvolvimento mais democrático.



REFERÊNCIAS

ACSELRAD, H. Discursos da sustentabilidade urbana. Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, Anpur (Associação Nacional de pós-graduação e pesquisa em planejamento urbano e regional): Campinas, SP, n.1, p. 79, 1999.

BROUWER, J. On the role of fuel cells and hydrogen in a more sustainable and renewable energy future. Current Applied Physics, Elsevier, v.10, p.S9-S17, 2010.

CHEN, Y.H.; CHEN, C.Y.; LEE, S.C. Technology forecasting and patent strategy of hydrogen energy and fuel cell technologies. International Journal of Hydrogen energy (Article in Press), p.1-13, 2011.

DIEGUES, A. C. S. Desenvolvimento Sustentável ou Sociedades Sustentáveis: das críticas dos modelos aos novos paradigmas. São Paulo em Perspectiva, v.6, p.22-29, 1992.

JACOBI, P. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. Cadernos de Pesquisa, n.118, 0. 189-205, 2003.

KORDESCH, K.; SIMADER, G. Fuel Cells and Their Applications. 1. ed. New York: Cambridge, 1996.

LINARDI, M. Introdução à Ciência e Tecnologia de Células a Combustível. 1 ed. São Paulo: ARTLIBER EDITORA, 2010.

NETO, E. H. G. Hidrogênio, Evoluir Sem Poluir: a era do hidrogênio, das energias renováveis e das células a combustível. Curitiba: Editora Brasil H2 Fuel Cell Energy, 2005.

STAMBOULI, A.B.; TRAVERSA, E. Solid oxide fuel cells (SOFCs): a review of an environmentally clean and efficient source of energy. Renewable Sustainable Energy Reviews, v.6, p.433-455, 2002.

VILLULAS, H.M. et al. Células a Combustível: Energia Limpa a Partir de Fontes Renováveis. Quím. Nova Esc., n. 15, p. 28-34, 2002.

WENDT, H. et al. Tecnologia de Células a Combustível. Quím. Nova, n. 23, p. 538-546, 2000.

ZÜTTEL, A. Materials for Hydrogen Storage. MaterialsToday, September, p.24-33, 2003.