

CÉLULA COMBUSTÍVEL E BATERIA INTEGRADOS A SISTEMA FOTOVOLTAICO

Antonio W.A. Calvalcante
awilton@cefet-ce.br

Paulo C. Carvalho
carvalho@dee.ufc.br

Lutero C. de Lima
Lutero@uece.br

Resumo

Novas tecnologias estão vindo para desenvolver o uso de potência pelos consumidores em um tempo maior a partir de fontes fotovoltaicas. Este artigo trabalha com dois tipos de tecnologia de armazenamento de energia combinados: bateria e conjunto eletrolizador-célula combustível e três tipos de uso de sistemas fotovoltaico: autônomo, híbrido e conectado à rede.

Palavras-chave: armazenamento de energia, geração fotovoltaica.

Abstract

New technologies are coming to improve the use of power for the consumers in a bigger time from photovoltaic source. This paper works arrangement with two types of technology of energy storage: Battery and electrolyzer-fuel cell set and three types of photovoltaic use: stand-alone, hybrid and connected to the grid.

Keywords: energy storage, photovoltaic system.

1 Introdução

O nível de crescimento do setor de energia elétrica tem se modificado constantemente, devido à dependência e necessidade do uso desse setor para os seres humanos, que busca soluções para implementação de novas fontes de energia. As ações previstas para os novos programas de produção e consumo de energia elétrica, necessitam de tecnologias de armazenamento que visam evitar o desperdício e o suprimento da demanda com reaproveitamento futuro.

As tecnologias de armazenamento de energia trabalham nas áreas da indústria e serviço, possibilitando a melhoria da flexibilidade, capacidade, minimização dos custos de demanda em horários de pico de energia e falhas no sistema de geração, abrindo oportunidades inovadoras aos mercados (BAXTER, 2002). Para entender o uso da energia armazenada, a Fig. 1 ilustra uma curva típica de demanda de eletricidade de uma cidade.

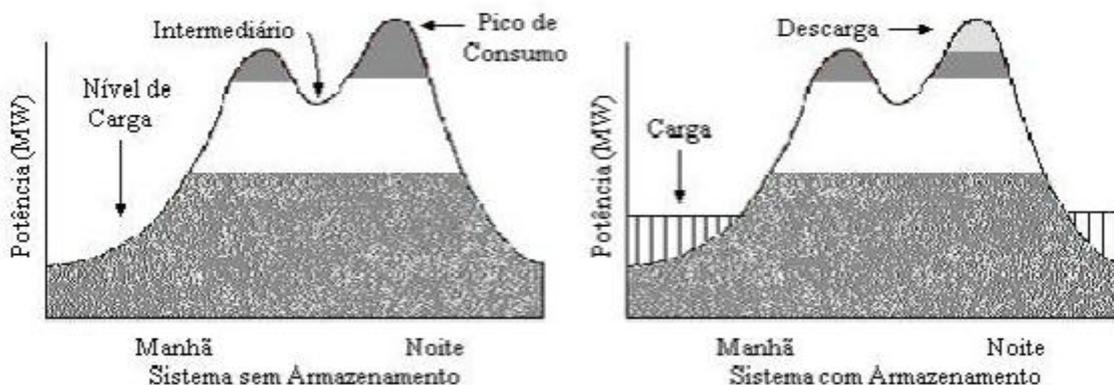


Figura 1: Curva típica de consumo de eletricidade de uma cidade.

O nível de potência consumida é crítico em dois períodos do dia, comprometendo, portanto, a normalidade contínua do fornecimento da potência para o consumidor. Observa-se no gráfico da esquerda da Fig. 1 que períodos de baixo consumo são desperdiçados no processo de carregamento. Já no gráfico da direita, a energia excedida nos períodos de baixo consumo é armazenada. A carga será usada nos períodos críticos do consumo.

Há tecnologias de armazenamento projetadas para trabalhar em período de descarga de horas a dias com potências baixas e outras em segundos a minutos com potências elevadas. O fornecimento dessa energia armazenada ajuda a elevar a eficiência na geração, transmissão e distribuição, garantindo melhor nível da prevenção de perda de potência.

A utilização da energia solar para gerar eletricidade torna necessário o armazenamento em sistemas autônomos, adaptando o perfil aleatório de produção energética ao perfil de consumo, guardando o excesso de energia durante períodos de baixo consumo e fatores naturais favoráveis à geração. O gráfico da Fig. 2. mostra o perfil de utilização da carga pela energia gerada dos painéis fotovoltaicos durante o dia. O armazenamento da energia se faz no período de radiação solar suficiente para a geração de eletricidade pelos painéis. A carga armazenada pode ser utilizada durante períodos de baixa intensidade solar (BAXTER, 2002).

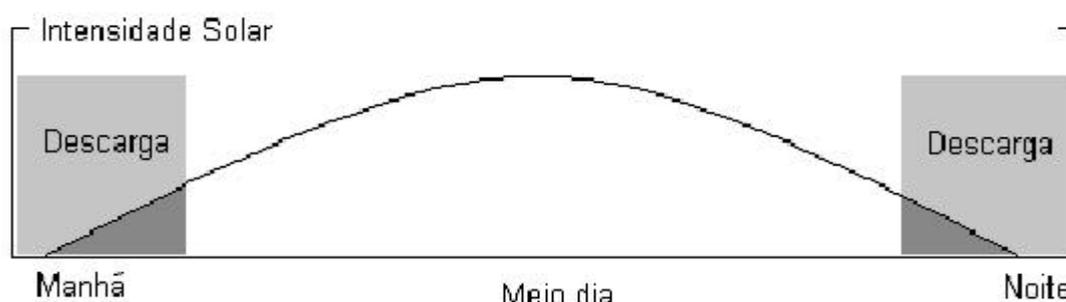


Figura 2: Perfil da radiação solar durante o dia.

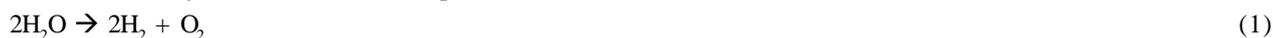
2 Tecnologias de armazenamento

Dois tipos de tecnologia de armazenamento de eletricidade, classificados como processos eletroquímicos se destacam a nível mundial: conjunto eletrolisador-célula combustível e bateria.

2.1 Célula combustível

As células combustíveis são dispositivos eletroquímicos eficientes que utilizam combustível de uma fonte externa, os quais produzem eletricidade sem emitir gases poluentes, quando o combustível usado é o hidrogênio puro. Já na utilização de hidrocarbonetos como combustível, serão produzidos gases poluentes, porém, em baixos níveis.

A maioria das células combustíveis combina hidrogênio e oxigênio na presença de um catalisador para produzir água, eletricidade e calor, sendo este denominado hidrólise, processo inverso da eletrólise da água (COSTA, 1997). Para a quebra da molécula da água em hidrogênio e oxigênio, o uso de uma corrente elétrica por um par de eletrodos num meio aquoso se faz necessário. A reação da hidrólise é dada por:



a reação inversa é:



A reação global de uma célula combustível é:

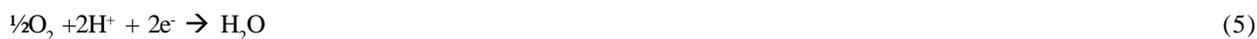


O esquema de funcionamento de uma célula combustível de ácido fosfórico (PAFC) é apresentado na Fig. 3. A célula possui dois eletrodos, o cátodo e o anodo. O calor pode ser aproveitado para aquecimento da água, em temperaturas elevadas (da ordem de 200°C) (NEVES, 2002).

Os átomos de hidrogênio são atraídos pelo anodo e separados em prótons e elétrons, sofrendo uma reação eletroquímica de oxidação:



As cargas negativas (elétrons) fluem por um fio condutor ligado entre os eletrodos no sentido do anodo para o catodo, produzindo eletricidade. Os prótons gerados são conduzidos pela substância eletrolítica de ácido fosfórico (H_3PO_4) até o catodo, onde sofre reação eletroquímica de redução:



produzindo água e calor.

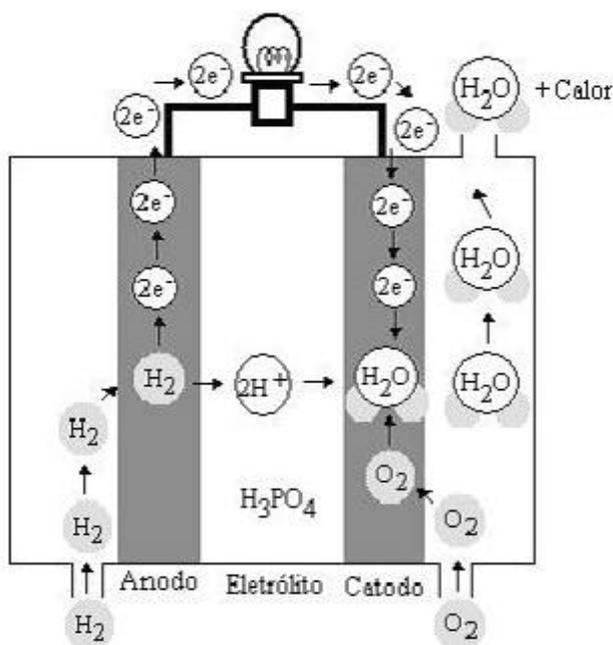


Figura 3: Esquema de funcionamento de uma PAFC, apresentando o processo inverso da eletrólise da água.

Uma célula típica produz uma diferença de potencial no intervalo de 0,7 V a 1,2 V de corrente contínua, sendo necessário formar pilha de células unitárias, obtendo as tensões desejáveis (COSTA, 1997).

O termo célula combustível, criada e desenvolvida por William Robert, surgiu em 1839. O princípio de operação de Robert foi mergulhar um pedaço de zinco metálico em ácido sulfúrico diluído e uma minúscula barra de platina em ácido nítrico, conectando ambos com um fio condutor de cobre. Uma fraca corrente elétrica fluiu então entre os dois metais.

Já em 1900, cientistas e engenheiros previam que esses dispositivos seriam um meio comum de produzir eletricidade em breve. Após 100 anos, o que se tornou comum neste período foram máquinas de combustão (motores e turbinas a gás) (NEVES, 2002).

A célula combustível passou por vários ciclos de estudo para transformá-la numa realidade comercial a partir de 1997, na Conferência de Kyoto (Japão) que estabelece a redução da emissão de gases poluentes na atmosfera. Nessa conferência, teve como grande marco o aumento da demanda de fontes alternativas, efetivando um interesse do mercado na produção dessas células, por terem características de fontes não poluentes (FRANK, 2002).

O combustível fornecido é o hidrogênio puro ou misturado com monóxido de carbono (CO), quando usado combustível fóssil (hidrocarboneto). A separação dos íons e cátions das substâncias químicas são combinados no eletrólito, no qual origina o produto da reação final (resto do catodo e anodo).

A classificação das células combustíveis toma como referência o eletrólito utilizado para seu funcionamento. Portanto, a célula combustível alcalina ou AFC (*alkaline fuel cell*) opera em torno de 70° C e seu eletrólito consiste do líquido hidróxido de potássio. Para a célula combustível de ácido fosfórico ou PAFC (*phosphoric acid fuel cell*) o eletrólito consiste do líquido ácido fosfórico que opera a uma temperatura de 200° C. A célula combustível de carbonato fundido ou MCFC (*molten*

carbonate fuel cell) usa uma mistura fundida de lítio/potásio para conduzir os íons carbonatos do catodo para o anodo com operação de temperatura em torno de 650° C. Outra célula combustível é a de óxido sólido ou SOFC (solid oxide fuel cell) que consiste de óxido ítrio-estabilizado do zircônio, conduzindo oxigênio do catodo para o anodo com temperatura alta em torno de 1000°C.

Na figura 4, são mostradas estruturas simplificadas das reações eletroquímicas de alguns tipos de células combustíveis com seus níveis de temperatura e potência (FUELCELL-EUR, 2004).

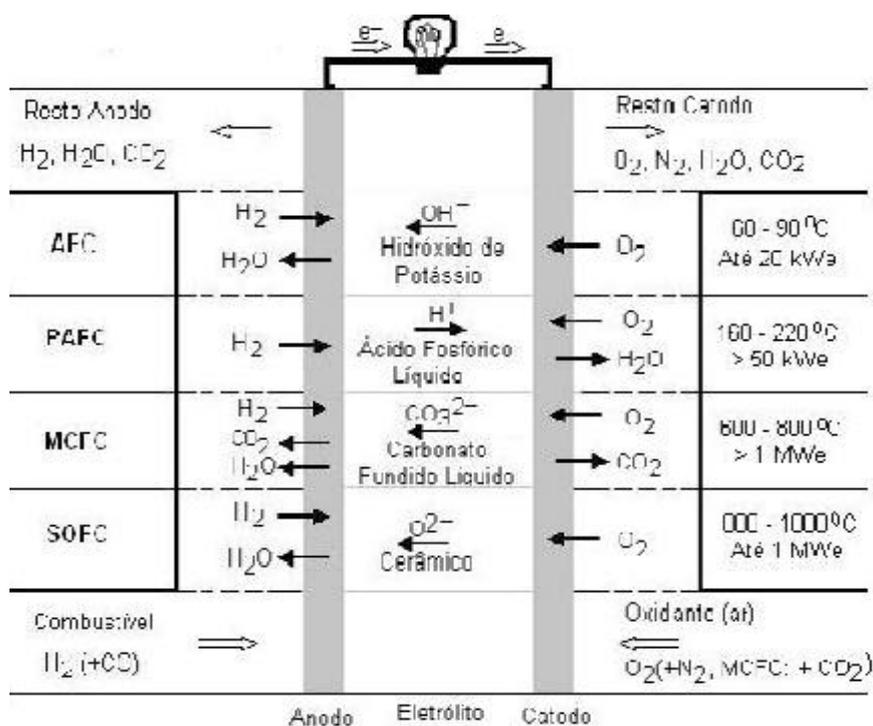


Figura 4: Tipos de células combustíveis e suas reações eletroquímicas

Atualmente, aplicações dessas tecnologias de células combustíveis, estão ocasionando grande impacto no setor de mercado. Muitas companhias estão investindo, visando melhor competitividade em negócios futuro. No mundo todo, investimentos anuais com projeções futuras têm sido realizados. A Tab. (1) apresenta estimativa de mercado para tecnologia de células combustíveis a nível mundial nos períodos de 1995 a 2005. Para o mercado total, o percentual de investimento anual nas células combustível, irá duplicar anualmente entre 2005/2000 em relação ao período 2000/1995 (FUELCELL-EUR,2004).

Tabela 1: Mercado da célula combustível no mundo (dados em milhões de US\$).

	1995	2000	2005	Crescimento Anual (%) 2000/1995	Crescimento Anual (%) 2005/2000
Total	1.205	2.440	8.500	15,2	28,4
EUA	355	720	2.500	15,2	28,3
Canadá & México	45	150	575	27,2	30,8
Oeste Europeu	310	600	2.300	14,1	30,8
Japão	360	675	1.950	13,4	23,6
Parte da Ásia e Pacífico	75	195	750	21,1	30,9
Outros	60	100	425	10,8	33,6

2.2 Bateria

A bateria é um sistema de armazenamento que converte energia química em energia elétrica, permitindo acumular energia, conservá-la e restituí-la posteriormente. A mais simples unidade de operação de uma bateria é chamada de célula eletroquímica, na qual a bateria é composta por apenas uma célula ou um conjunto de células conectadas em série e/ou paralelo para produzir uma tensão e/ou corrente mais elevada do que se pode obter por uma única célula.

As baterias podem ser classificadas em duas principais categorias:

- Baterias primárias (não recarregáveis);
- Baterias secundárias (recarregáveis).

As baterias primárias são as que produzem eletricidade sem necessidade de serem carregadas por uma outra fonte de alimentação externa. Quando se descarregam completamente, sua vida útil termina e elas são inutilizadas. As combinações usadas nas baterias primárias são: alcalina, carbono-zinco ou cloro-zinco, lítio, óxido de prata, zinco-ar ou mercúrio.

As baterias secundárias são as que necessitam de fornecimento de carga por uma fonte de tensão contínua externa (recarga da bateria), quando sofrem descarga. Uma bateria secundária pode ser carregada e descarregada várias vezes, podendo armazenar muito mais energia do que uma bateria primária.

As baterias chumbo-ácido representam cerca de 60% das baterias vendidas em todo o mundo e apresentam a grande vantagem de serem facilmente recicladas (CEEETA, 2003).

A capacidade de energia de uma bateria é medida a partir da tensão nos terminais e Amperes hora (Ah). A variação destas características é de grande importância na escolha do tipo de bateria mais adequado, sendo influenciada pela mudança de temperatura.

A vida útil da bateria pode ser expressa de duas formas: número de ciclos e período de tempo. Para a forma do número de ciclos, a vida útil é o número de ciclos (com uma determinada profundidade de descarga) que uma bateria pode ser submetida antes de apresentar falhas em satisfazer às especificações. Este número depende da profundidade de descarga do ciclo, da corrente de descarga e da temperatura de operação.

A figura 5 mostra o gráfico da descarga em três níveis de temperatura para as baterias secundárias [CRESESB99].

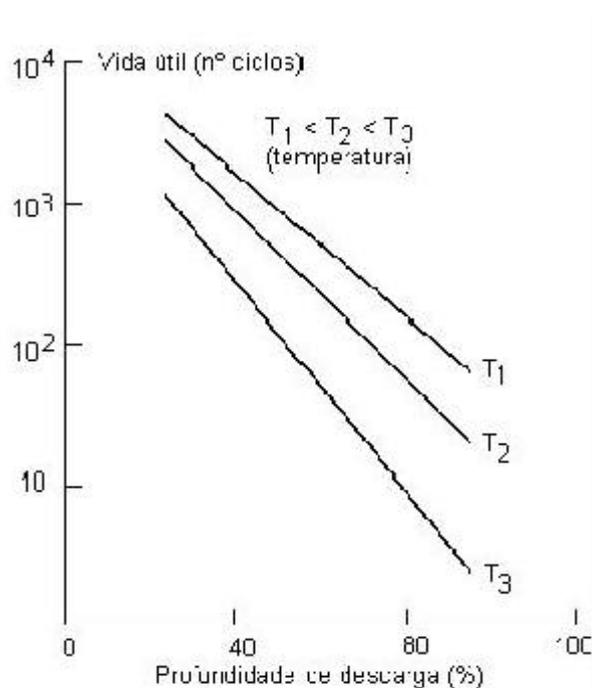


Figura 5: Efeitos da profundidade de descarga e da temperatura em relação a vida útil da bateria.

A vida útil da bateria está inversamente relacionada com a profundidade de descarga, degradando-se mais rapidamente quando a temperatura de operação da bateria e a profundidade de descarga aumentam.

O princípio de funcionamento da bateria ocorre com o processo de reações químicas. No circuito externo, a corrente elétrica circula pela carga enquanto que no interior de cada bateria, a corrente é resultante do deslocamento de íons de um eletrodo para outro. Durante este período, as matérias ativas esgotam-se e a reação abranda até que a bateria deixa de ser capaz de fornecer os íons, o que significa que a bateria está descarregada. Invertendo o sentido da corrente elétrica, a reação química no interior da bateria inverte-se, carregando novamente a bateria. A Fig. 6 mostra o esquema de carregamento e descarregamento de uma bateria de chumbo ácido.

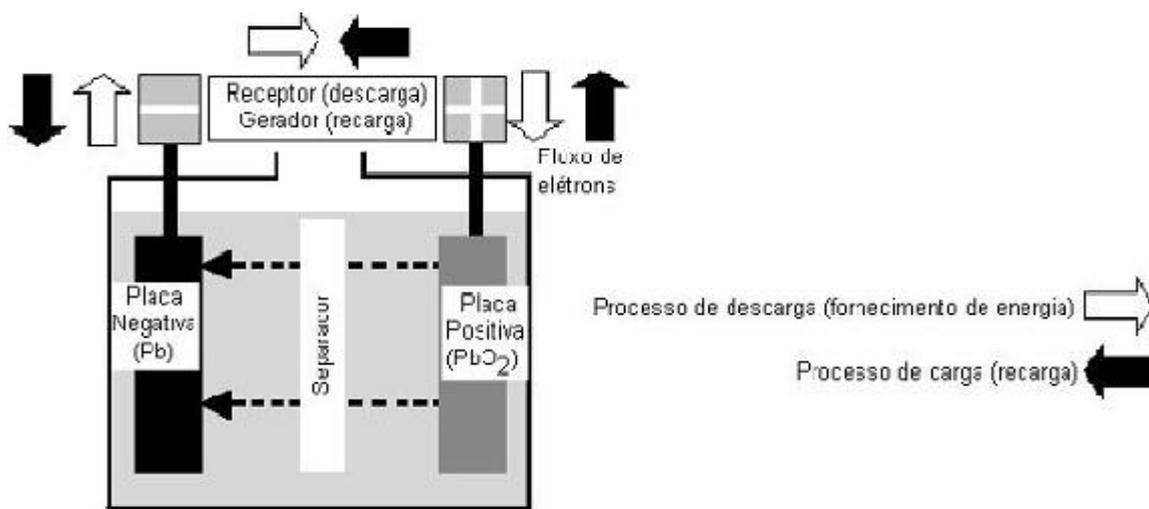


Figura 6: Processo de carregamento e descarregamento de uma bateria de chumbo ácido

O dióxido de chumbo (PbO₂) é o material ativo do eletrodo positivo e o chumbo metálico (Pb), numa estrutura porosa altamente reativa, do eletrodo negativo. O eletrólito é uma solução diluída de ácido sulfúrico (H₂SO₄), onde cada eletrodo é imerso.

Durante o processo de descarga da bateria, o ácido sulfúrico reage com os materiais ativos das placas, produzindo água, que dilui o eletrólito. No processo de carga, o processo é revertido: o sulfato de chumbo (PbSO₄) das placas é transformado em PbO₂ e H₂SO₄. A reação química reversível para a bateria é dada por:



Quando a célula está carregada, há produção dos gases hidrogênio e oxigênio. Isso ocorre se todo o material ativo da placa positiva tiver sido utilizada, de tal maneira, que não são mais capazes de converter a corrente de carga em energia eletroquímica.

Em resumo, o cátodo transfere os elétrons para o circuito externo produzindo eletricidade, quando a bateria é utilizada (descarrega). O eletrólito da água faz com que o oxigênio seja liberado na placa positiva e hidrogênio na placa negativa (H₂O → H₂ + ½ O₂), resultando numa perda de água, sendo necessário recompensar com regularidade. No entanto, baterias seladas controlam a reação para impedir a evolução do hidrogênio e a perda da água, pela recombinação do oxigênio.

Para impedir o contato entre as placas (conseqüentemente o curto circuito), utiliza-se isolantes finos, chamados de separadores. Estes separadores podem ser feitos de vidro, plástico, madeira, amianto, borracha ou fibra de vidro. São microporosos, permitindo livre passagem do eletrólito e ajudando a fixar o material ativo entre as placas (CRESESB, 1999).

Há vários tipos de baterias possuindo características distintas. A Tab. (2) apresenta algum desses tipos (CEEETA, 2003).

Tabela 2: Relação das características de algumas baterias.

Tipo	Energia Específica (Wh/kg)	Potência Específica (W/kg)	Período de Recarga (h)	Ciclo de Vida (ciclos)
Chumbo Ácido	33	130	8 – 17	400
Níquel Cádmio	57	200	8	2000
Níquel Ferro	55	100	4 – 8	2000
Níquel	70	250	< 6	600

3 Sistemas fotovoltaicos

A eletricidade a partir do processo fotovoltaico (FV) é obtida diretamente pela transformação da luz em eletricidade através de células solares, gerando corrente contínua (CC) e podendo fornecer corrente alternada (CA) com a implementação de inversores CC/CA.

Os sistemas FV podem ser classificados quanto ao abastecimento da carga: autônomo, híbrido e conectado à rede.

3.1 Sistema autônomo

O sistema autônomo consiste de um gerador FV, sendo o único responsável pelo fornecimento de energia elétrica para cargas que não possuem nenhum tipo de ligação com a rede elétrica (CARVALHO, 2003).

3.2 Sistema híbrido

O sistema híbrido consiste numa combinação de painéis FV com o gerador eólico, diesel, gás, célula combustível e outras fontes de geração. Para a melhoria da operação o sistema híbrido, necessita de controle mais sofisticado em relação aos sistemas autônomos. Por exemplo, no caso de um sistema FV/célula combustível, a célula combustível deve funcionar quando a bateria (armazenador de energia) alcançar um determinado nível de descarga e parar o funcionamento quando a bateria retornar ao seu estado de carga normalizado.

Na implementação de um sistema híbrido, o componente fotovoltaico com baterias, apresenta custo menor do que apenas o sistema fotovoltaico autônomo. Portanto, o custo total de um sistema híbrido pode ser menor do que um sistema autônomo fotovoltaico para algumas aplicações (EAB, 1993).

Um exemplo de duas configurações de sistema FV autônomo e híbrido é apresentado na Fig. 7. O esquema da esquerda, produz eletricidade no modo autônomo, usando o painel FV para produzir e armazenar hidrogênio a partir de um eletrolizador, sendo utilizado na célula combustível para fornecimento de eletricidade para a carga. A bateria também é utilizada para armazenamento de energia do sistema FV e fornecer eletricidade para a carga.

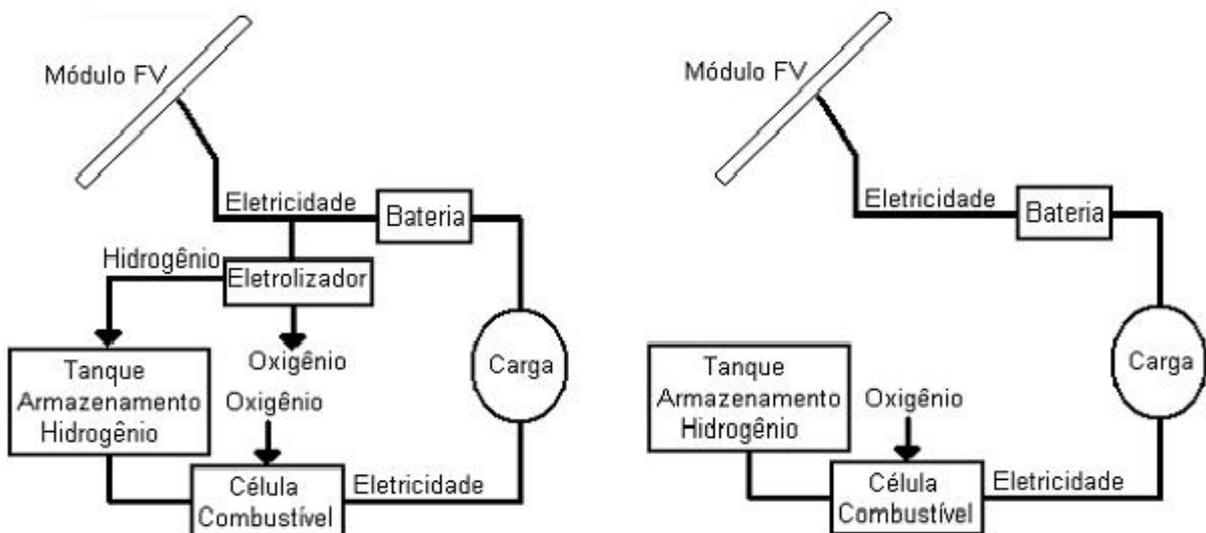


Figura 7: Diferentes tipos de produção de eletricidade para alimentação de carga.

No esquema da direita, a célula combustível produz eletricidade independente do módulo FV, caracterizando um sistema híbrido. A bateria tem a mesma função do esquema anterior, servindo como armazenador de energia.

3.3 Sistema ligado à rede

Estes sistemas utilizam conjuntos de painéis FV, sem uso de armazenamento de energia, pois toda a geração é entregue diretamente à rede. Este sistema representa uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual está conectado. Todo o arranjo é conectado em inversores que devem satisfazer às exigências de qualidade e segurança para que a rede não seja afetada.

4 Aplicações dos sistemas fotovoltaicos com células combustíveis / baterias

4.1 Aplicação 1: Protótipo Hélios

O *Hélios* é um exemplo de sistema autônomo que usa célula combustível. A asa voadora do *Hélios* é impulsionada por 14 motores elétricos de 2 HP cada. A energia é gerada a partir de células fotovoltaicas montadas na superfície externa de sua fuselagem e de um sistema de células combustível regenerativas. Durante o dia a luz solar movimenta os motores e faz a eletrólise da água armazenada, transformando-a em hidrogênio e oxigênio. O hidrogênio armazenado é utilizado à noite pelas células combustíveis para movimentar os motores e gerar novamente água, possibilitando voar por longos períodos a altíssimas altitudes e sem poluentes. A Fig. 8 mostra o protótipo em teste no ar e a Tab (3) suas características técnicas (CELULAACOMBUSTÍVEL, 2005).



Figura 8: Exemplo de sistema autônomo fotovoltaico usando células combustíveis – Protótipo Hélios.

Tabela 3: Características técnicas do sistema Hélios.

Peso máximo:	928 kg
Carga útil:	329 kg, incluído instrumentos e energia suplementar
Energia Elétrica:	62120 células solar dupla face com eficiência de 19%
Propulsão:	14 motores elétricos CC de 2 HP cada um, hélices de 2 metros projetadas para grande altitude
Velocidade:	30 a 43 km/h a baixas altitudes e até 273 km/h a grandes altitudes
Altitude:	Até 100000 pés
Autonomia:	De dias a meses
Materiais:	Fibra de carbono, plástico transparente de alta resistência

Foram utilizados inicialmente, baterias e painéis fotovoltaicos que alimentavam os motores no período diurno. No período noturno, houve a necessidade de energia superior aos da bateria, passando a ser utilizado posteriormente célula combustível regenerativa. O sistema de célula combustível tem densidade de energia maior do que qualquer bateria (trinta vezes superior às baterias de chumbo ácido).

4.2 Aplicação 2: Comunidade isolada no norte da Islândia

A partir de modelos de sistemas híbridos existentes, como o fotovoltaico-diesel, pesquisas desenvolvidas pela *Helsinki University of Technology* (HUT) e a empresa NAPS Ltda, foi traçado um perfil de inovação tecnológica e científica do modelo sistema FV–célula combustível. Foram encontradas soluções práticas mais efetivas para a distribuição de armazenamento ao longo prazo em algumas comunidades isoladas dos centros urbanos e com difícil acesso ao fornecimento de energia convencional. Essas comunidades chegam a passar três meses com radiação solar insuficiente.

No sistema híbrido que utiliza óleo diesel como gerador a dificuldade de reabastecimento do combustível, poluição e ruídos no período de funcionamento são fatores que determinaram a utilização de outros tipos de geração.

O local de testes para pesquisa localiza-se no norte da Finlândia a 60° N de latitude. A partir das simulações dos parâmetros padrões dos sistemas fotovoltaicos e a capacidade de armazenamento de carga, foram remodelados até encontrar melhor eficiência (LUND, 2001).

Durante o ano, o fornecimento de energia a carga, possibilita a operação em regime constante, sendo suprido pela célula combustível e banco de baterias a partir do sistema fotovoltaico. Nos primeiros e últimos dias do ano, a célula combustível fornece eletricidade para a carga usando o hidrogênio como combustível. Nos demais dias a utilização dos módulos fotovoltaicos fornece eletricidade para consumo de energia e para recarga da bateria.

4.3 Aplicação 3: Residência auto-sustentável e parque solar-hidrogênio

A utilização do sistema fotovoltaico para a geração de eletricidade também pode ser implementada em conjunto com o hidrogênio, possibilitando a utilização da autonomia energética para o consumidor secundário com a distribuição e alimentação da energia produzida. Estudos recentes da U.S. National Academy prevê o uso do hidrogênio mais próximo. A utilização deste conceito é visualizada em duas implementações distintas. A primeira é a residência individual ou edifício, que apresenta autonomia na energia com a produção, armazenamento e distribuição. A fonte primária da energia é o sol, convertida em eletricidade por módulos fotovoltaicos e utilizada no processo da eletrólise para a produção do hidrogênio. O armazenamento do hidrogênio é usado na célula combustível para produção de eletricidade, como também para combustível do carro, possibilitando assim a independência do uso da energia. O excesso da eletricidade é fornecido à rede elétrica. A Fig. 9 resume este tipo de implementação (KAZMERSKI, 2004).

A segunda implementação é a distribuição de eletricidade pelo sistema fotovoltaico/hidrogênio: parque solar/hidrogênio para comunidade constituída de residências, edifícios e comércio com posto de abastecimento de combustível para automóveis, caminhonetes e caminhões. A obtenção da eletricidade e armazenamento do hidrogênio como combustível para a célula combustível apresenta o mesmo processo da primeira implementação.

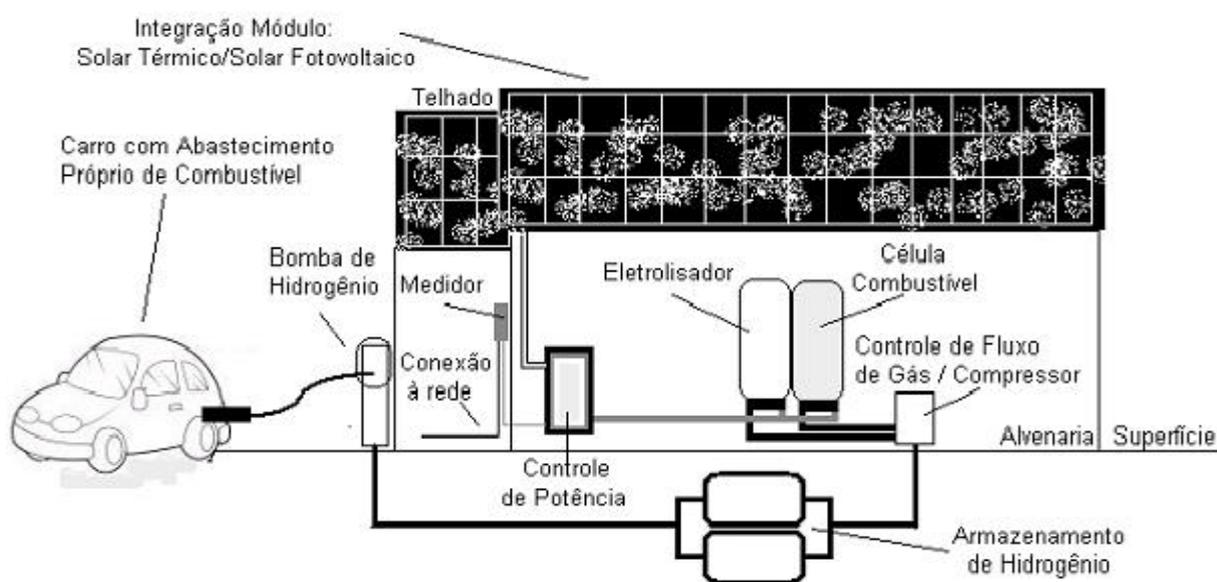


Figura 9: Casa auto-sustentável de eletricidade usando fontes de energia fotovoltaica/hidrogênio.

5 Conclusões

A determinação de um projeto para instalação de um sistema fotovoltaico, utilizando dispositivos de armazenamento ou não, deve ter a análise de viabilidade técnica e econômica para ambas as partes (usuário e empresa). O sistema fotovoltaico conectado à rede mostra melhor eficiência para suprimento de cargas na eletricidade convencional, por outro lado, inviabiliza o emprego em comunidades isoladas da rede elétrica.

Para utilização do dispositivo de armazenamento em sistemas fotovoltaicos em localidades isoladas, a escolha viável no atual momento é de baterias, já que com células combustíveis (por oferecer melhor eficiência do que a bateria) o custo ainda é alto sendo, portanto, apenas para pretensões futuras de implementação.

Referências

- BAXTER, R. Energy storage enabling a future for renewables. *Renewable Energy World*, London, v. 5, n. 2, p. 109-117, 2002.
- CARVALHO, P. C. *Geração eólica*. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2003. 150 p
- CEEETA. Disponível em: <<http://www.ceeeta.pt>>. Acesso em: 2 maio 2003.
- CÉLULA a combustível. Disponível em: <<http://www.celulaacombustivel.com.br>>. Acesso em: 2 maio de 2005.
- COSTA, S. F.; SERRA, E. T.; NASCIMENTO, M. V. Células combustíveis com etanol minimamente desidratado e cogeração: oportunidade única no Brasil. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 14., 1997, Belém. *Anais...* Belém: SNPTEE, 1997. p. 1-6.
- CRESESB. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. Organizado pelo Grupo de Trabalho de Energia Solar. Rio de Janeiro, 1999.
- ENERGY ANLAGEN BERLIN GMBH (EAB). *Photovoltaic technologies and their future potencial*. Berlin, 1993.
- FRANK, M. H. T. Célula combustível: análise do cenário brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 9., 2002, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: SBPE, 2002. v. 4, p. 1613-1620
- FUELCELL-EUR. Disponível em: <<http://www.fuelcell-eur.nl>>. Acesso em: 2 jun. 2004.
- KAZMERSKI, L. L.; BROUSSARD, K. Solar photovoltaic hydrogen: the technologies and their place in our roadmaps and energy economics. Colorado: NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY, 2004. NREL/CP-520-3640. Conference Paper.
- LUND, P.; LEPPÄNEN, J. Improved stand-alone PV systems with fuel cells. In: EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE, 17., 2001, Munich. *Proceedings...* Munich: EPSEG, 2001. p. 2422-2426.
- MAYCOCK, P. The world PV market. *Renewable Energy World*, London, v. 5, n. 2, p. 147-161, 2002.
- NEVES, P. R. B. Sistema de geração distribuída com microturbinas e células a combustível. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 9., 2002, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: SBPE, 2002. v. 4, p. 1698-1708.
- SILVESTRE, S. et al. Improved PV battery modeling using Matlab. In: EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE, 17., 200, Munich. *Proceedings...* Munich: EPSEG, 2001. p. 507-509.
- ULLEBERG, O.; MORNER, S.O. Trnsys simulation models for solar-hydrogen systems. *Solar Energy*, New York, v. 59, n. 4, p. 271-279, 1997.

SOBRE OS AUTORES

Antonio W.A. Cavalcante

Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal do Ceará, em 2001, Licenciatura Plena em Física pela Universidade Estadual do Ceará, Mestrando em Engenharia Elétrica pela UFC. Atualmente ocupa o posto de professor de 1º e 2º graus do Centro Federal de Educação Tecnológica e atua em nível técnico e tecnológico.

Paulo Cesar Marques de Carvalho

Nascido em Fortaleza em abril 1963. Doutor pela Universidade de Paderborn - Alemanha 1993-1997, professor do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará.

Pesquisador na área de Sistemas de energia, com várias publicações na área de geração fotovoltaica e eólica.

Lutero Carmo de Lima

graduou em Física (1974), tem mestrado e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1976) e Universidade São Paulo (1986), respectivamente. O Prof. Lutero basicamente trabalha com problemas fundamentais das ciências térmicas, instrumentação e energia alternativa. Publicou dezenas artigos em revistas e congressos nestes assuntos.