

UNIDADE MÓVEL DIDÁTICA DE CONVERSÃO SOLAR FOTOVOLTAICA

José Américo de CARVALHO (1); Manuel Rangel BORGES NETO (2); Luiz Carlos Nascimento LOPES (3); Alberto Willian MASCARENHAS(4); Aureo Cezar de LIMA(5) João Tercio Fontenele RIBEIRO(6).

(1) CEFET Petrolina, BR 407 km 08, s/n - Jardim São Paulo, Petrolina-PE, CEP 56314-520,
Fone: (87) 3863-2330, Fax: (87) 3863-0359, e-mail: americo2003br@yahoo.com.br

(2) CEFET-Pet, e-mail: rangel@cefetpet.br

(3) CEFET-Pet, e-mail: proficnl@yahoo.com.br

(4) CEFET-PE, e-mail: awmascarenhas@gmail.com

(5) CEFET-Pet, e-mail: aureocl@terra.com.br

(6) CEFET-Pet, e-mail: tercio50@hotmail.com

RESUMO

A crescente demanda por energia, sobretudo as de origem fóssil, tem estimulado o estudo e aplicação de formas alternativas de energia. Dentre as formas renováveis a energia solar fotovoltaica tem tido destaque por se tratar de fonte abundante e limpa com aplicações em instalações rurais de pequeno porte e/ou cargas isoladas. O uso eficiente da energia, bem como a utilização de fontes renováveis, tornou-se assunto indispensável nos cursos de formação profissional, técnicos e superiores. Este trabalho apresenta os resultados do desenvolvimento de uma unidade móvel de ensino para conversão solar fotovoltaica no CEFET Petrolina. Consiste de um armário metálico feito em chapa de aço carbono, montado sobre rodas, com gavetas para ferramentas, plataforma para exposição dos componentes, dois módulos solares fotovoltaicos com potência de 130 W, um inversor de frequência de 700 W, um controlador de carga de 180 A, dois acumuladores de carga (baterias) de 180 Ah. O sistema de medição é baseado em microcontrolador e a apresentação dos valores de tensão, corrente e forma de onda utiliza LCD gráfico enquanto se adicionam cargas de iluminação, micro bomba e ventilador. A estrutura da unidade foi projetada para facilitar o transporte onde os módulos fotovoltaicos são posicionados no ângulo de acordo com as condições geográficas do local e fazem parte do armário quando fechado. A expectativa deste trabalho é se obter um recurso didático inovador para aulas expositivas de sistemas fotovoltaicos e conservação de energia, bem como, temas ligados ao meio-ambiente. Características como mobilidade, flexibilidade, facilidade de utilização e a possibilidade de expansão com outros módulos de aplicação como eletrônica e controle tornam a unidade uma ferramenta de aplicação multidisciplinar.

Palavras-chave: Sistema didático, conservação de energia, eletrônica, solar fotovoltaica.

1. INTRODUÇÃO

A Terra recebe anualmente $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia solar, o que corresponde a 10.000 vezes o consumo mundial de energia neste período, CRESEB, 2008; por outro lado, os combustíveis fósseis, carvão, gás e óleo, são responsáveis pelo fornecimento de 65% da eletricidade, Tabela 1, (Shayani, 2006).

Desde o início do século XX, o mundo tem sofrido com a exploração de seus recursos naturais, com a poluição da atmosfera e com a degradação do solo, de forma que, o uso das fontes tradicionais deverá ser reduzido, não só pela sua característica efêmera, mas porque representa uma ameaça ao meio ambiente. As fontes alternativas de energia ganham, assim, um espaço cada vez maior, pois, além de não prejudicar a natureza, são renováveis e, por isso, perenes.

Tabela 1 – Geração de eletricidade mundial conforme as fontes utilizadas, em 2002
(fonte:IEA, 2005 modificado, apud Shayani, 2006)

Fonte de energia:	GWh gerado	% do total gerado
- Carvão	6.265.095	38,8
- Gás	3.064.884	19,0
- Hidráulica	2.676.158	16,6
- Nuclear	2.660.441	16,5
- Petróleo	1.160.796	7,2
- Biomassa	139.286	0,9
- Resíduos	55.908	0,3
- Outras fontes	54.354	0,3
- Geotérmica	52.236	0,3
- Solar térmica	569	0,0
- Solar fotovoltaica	412	0,0
Total da produção de eletricidade	16.130.139	100,0

Destacam-se como fontes renováveis a energia solar térmica e fotovoltaica, a energia eólica por intermédio dos aerogeradores e cata-ventos, a energia hídrica com a utilização de rodas d'água, carneiros hidráulicos e turbinas aquáticas e a biomassa, caracterizada pelo uso da matéria de origem orgânica, seja de culturas vegetais, como da utilização de resíduos de cultura, pecuária, urbanos e industriais.

O Brasil, diferente da média mundial, apresenta predominância na geração de eletricidade através de fontes renováveis, destacando, sobretudo, as centrais hidrelétricas, 82,8% e o bagaço de cana, 1,6%. Os sistemas eólicos participam com 0,2% da matriz energética brasileira, enquanto que os sistemas de geração fotovoltaicos ainda não têm potência instalada significativa; fato devido, em parte, ao alto custo de aquisição dos equipamentos, sendo justificado somente para o uso em instalações isoladas de pequeno porte, sobretudo na área rural.

1.1. Sistema Solar fotovoltaico

De acordo com CRESESB, 2008, possuindo o silício quatro elétrons, o efeito fotovoltaico pode ser obtido quando se adicionam átomos com cinco elétrons de ligação em uma metade e átomos com três elétrons na outra. Utilizando-se átomos de boro e fósforo em um silício puro será formado o que se chama junção pn, onde os elétrons livres do lado n passam ao lado p e encontram buracos que os capturam tornando-o negativamente carregado, enquanto o lado n torna-se eletricamente positivo, Figura 1.

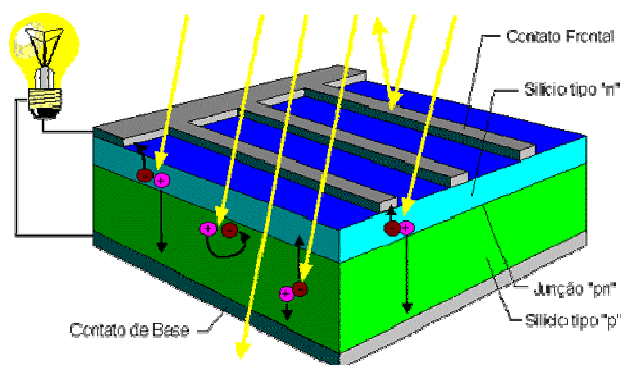


Figura 1 – Corte transversal de uma célula fotovoltaica

Se a junção pn for exposta a fótons, ocorrerá a geração de pares elétron-lacuna, se isto acontecer na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, gerando, assim, uma corrente através

da junção. Este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial denominada Efeito Fotovoltaico que, uma vez formado o circuito elétrico, determinará o aparecimento de uma corrente elétrica na carga.

As células fotovoltaicas são fabricadas, geralmente, de silício, podendo ser constituídas de cristais monocristalinos, policristalinos ou de silício amorfo. A célula de silício monocristalino, comumente usada como conversor direto de energia solar para eletricidade, pode atingir eficiência de até 15%, podendo chegar a 18% em células feitas em laboratórios.

Devido à baixa tensão e corrente de saída das células fotovoltaicas, elas podem ser agrupadas em série e paralelo para formar um módulo. Uma vez que uma célula fornece aproximadamente 3 A e 0,7 V, a partir da conexão em série pode se obter 12 V, tensão dos acumuladores e, a partir da conexão em paralelo, correntes maiores, de acordo com a necessidade da carga.

As principais características elétricas dos módulos fotovoltaicos são apresentadas nas curvas corrente e potência por tensão, determinadas para uma condição padrão de temperatura de 25°C e radiação igual a 1000W/m² (recebida na superfície da Terra em dia claro, ao meio dia), Figura 2. Destacam-se, ainda, como pontos importantes na curva a Tensão de Circuito Aberto (Voc), Corrente de Curto Circuito (Isc), Potência Máxima (Pm), Tensão de Potência Máxima (Vmp), Corrente de Potência Máxima (Imp)..

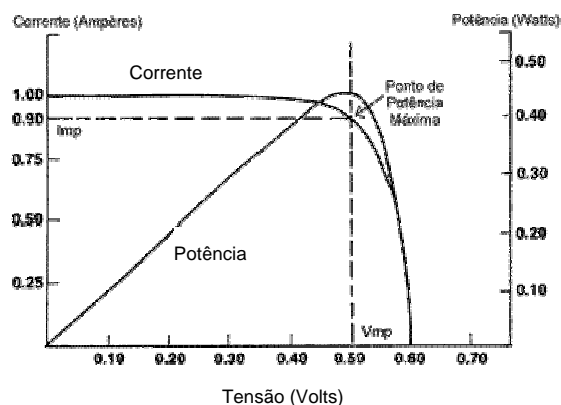


Figura 2 – Ponto de potência máxima e curvas características de corrente e potência por tensão

Para um aproveitamento ótimo da energia solar disponível ao longo do ano, faz-se necessário que o arranjo de painéis FV no hemisfério Sul esteja voltado para o Norte geográfico e com um ângulo de inclinação igual à latitude do local a ser instalado, porém não inferior a 15°, de forma garantir a limpeza natural do painel FV quando houver precipitações.

Um sistema FV isolado, em geral, deve possuir dispositivos de armazenamento de energia, de forma a garantir o funcionamento dos equipamentos em dias de baixa insolação ou mesmo no período noturno. Este armazenamento pode ser feito através de baterias, quando se deseja utilizar aparelhos elétricos ou em forma de energia gravitacional, quando se bombeia água para tanques em sistemas de abastecimento..

Ao utilizar baterias, faz-se necessário um dispositivo para controlar a carga e a descarga da mesma, o controlador de carga. Este dispositivo tem como principal função evitar danos à bateria por sobrecarga ou descarga profunda, sendo necessário em sistemas que alimentam aparelhos em baixa tensão e corrente contínua (CC).

Para alimentação de equipamentos de corrente alternada (CA) é necessário o conversor CC-CA, também conhecido como inversor. Este dispositivo é utilizado para alimentação de eletrodomésticos convencionais e geralmente incorpora um seguidor de ponto de máxima potência, Figura 3.

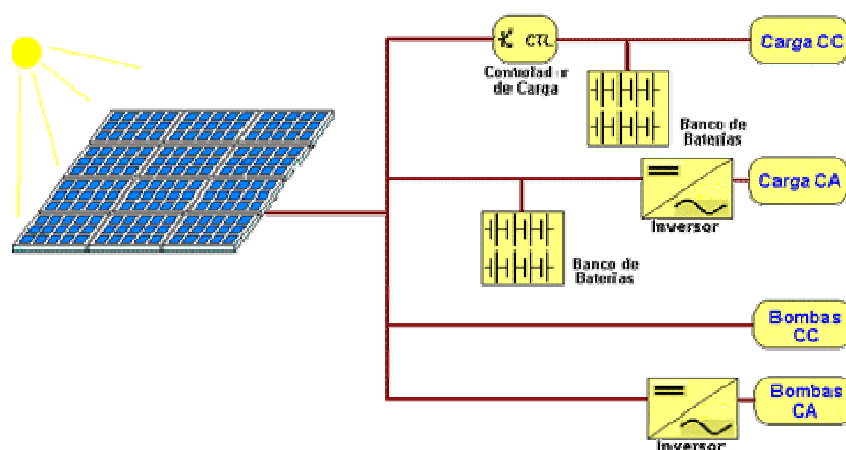


Figura 3 – Diagrama de sistemas fotovoltaicos em função do tipo de carga utilizada

1.2. O uso do Sistema Solar fotovoltaico

A utilização da energia solar FV em comunidades isoladas permite a obtenção de níveis mínimos de conforto, aumenta a produção e a renda e reduz o fluxo migratório para a cidade. Estes benefícios têm alcançado um maior número de usuários na última década, principalmente pela ação do governo através do Programa para o Desenvolvimento da Energia nos Estados e Municípios, PRODEEM, da queda dos preços nacionais e internacionais destes sistemas e do caráter renovável e local da energia produzida.

O PRODEEM, mesmo permitindo a utilização de qualquer fonte alternativa de energia, concentrou-se na geração solar FV em três tipos de aplicações: sistemas residenciais e escolares, sistemas de bombeamento de água e sistemas de iluminação pública comunitária, (Galdino & Lima, 2002). Estimava-se, ao final de quatro anos, a instalação 9,3 mil sistemas em todo o Brasil, atendendo 3,72 milhões de pessoas a um custo de US\$ 110 milhões, Silva & Berman, 1999.

De acordo com Krauter & Kissel, 2004, foram instalados 9 mil sistemas solar fotovoltaicos de 500 Wp com um custo final de US\$ 70 milhões sendo, 67% aplicados na eletrificação de centros de saúde e escolas, 30% no bombeamento de água e 3% na iluminação pública. O mesmo autor verificou, ainda, que pelo menos 50% das falhas nos sistemas instalados no estado do Ceará ocorreram devido a inadequações de projetos, baixa experiência dos instaladores, manuais dos equipamentos incompreensíveis, fiação inadequada, sobrecargas e dificuldades para obtenção de baterias mais econômicas. Recentemente incorporado ao programa Luz para Todos, com objetivo de universalizar o fornecimento de energia, projeta-se atingir 12 milhões de pessoas até o final de 2008.

A cidade de Petrolina - PE, mesoregião do São Francisco, com população estimada em 247.322 habitantes onde 24% encontram-se na zona Rural, IBGE, 2005, foi contemplado com 30 sistemas de Bombeamento de 300 Wp e 400 Wp através do programa PRODEEM.

De uma inspeção realizada em janeiro de 2005 pelo Ministério de Minas e Energia observou-se que, dos 30 sistemas inicialmente instalados, apenas 04 encontravam-se em funcionamento (Borges Neto & Carvalho, 2006). Segundo o mesmo autor, os sistemas de bombeamento fotovoltaicos não requerem manutenção preventiva intensiva, todavia sendo importados dos Estados Unidos e França, houve falta de mão-de-obra especializada para lidar com os sistemas FV que, aliadas ao vandalismo e falta de acompanhamento do projeto, contribuíram para o mal desempenho do programa no município.

Sob tal cenário, o curso Técnico em Eletrotécnica do CEFET Petrolina, atualmente com 471 alunos distribuídos nas modalidades integrada, subsequente e proeja, vem buscando disseminar conhecimento e formar profissionais habilitados para atuarem em sistemas de energias renováveis. Verificando a necessidade de treinamento em manutenção de equipamentos de energia solar FV, bem como a demanda da disciplina de energia e meio-ambiente presente no curso, foi concebida e dado início a montagem de uma Unidade Móvel Didática de Conversão Solar Fotovoltaica (UDSF), uma vez que não há dispositivos semelhantes em escala comercial ou mesmo citados na literatura científica.

2. SISTEMA MÓVEL DIDÁTICO DE CONVERSÃO SOLAR FOTOVOLTAICO

Um sistema solar fotovoltaico, conforme a aplicação, geralmente possui módulos fotovoltaicos, controlador de carga, sistema de acumulação de energia e/ou conversores CC-CA. Um sistema didático, por sua vez, necessita de componentes, equipamentos e medidores que possibilitem ao educando verificar o comportamento do sistema em seu funcionamento normal, sob solicitação extrema, em condição de defeito e ainda auxiliar no projeto a avaliação do sistema.

O sistema didático deve, ainda, contemplar características de transporte, segurança pessoal e do equipamento e de adaptabilidade ao local de instalação, uma vez que o objetivo proposto contempla a utilização em ambientes diferentes, internamente e externamente ao laboratório, eventos, etc. Sob este aspecto, o módulo didático deve ser compacto, leve, possuir sistema de proteção contra choque, sistema de travamento dos componentes para transporte e contra roubo, bem como possuir equipamentos de localização geográfica e de ajuste para o posicionamento dos módulos solares.

Para verificar o funcionamento do equipamento, o sistema deve ainda ser composto de cargas reais ou didáticas de iluminação, eletrodoméstico e sistema de bombeamento, de forma que possibilite a demonstração do funcionamento do sistema. Assim, adicionando aos componentes disponíveis comercialmente, o Sistema Didático de Conversão Solar Fotovoltaico, deverá possuir características específicas, projetadas, executadas e avaliadas pelo CEFET Petrolina.

2.1. Características construtivas do sistema desenvolvido.

Este módulo didático consiste-se de um armário metálico feito em chapa de aço carbono, montado sobre rodas, com gavetas para ferramentas e plataforma para exposição dos componentes, Figura 4. A estrutura da unidade foi projetada para facilitar o transporte onde os módulos fotovoltaicos são posicionados em ângulo ajustável de acordo com as condições geográficas do local e fazem parte do armário quando fechado.

Os equipamentos básicos do sistema didático, oriundos do PRODEEM e sua revitalização de 2007, constituem-se de dois módulos solares fotovoltaicos com potência de 65 Wp cada, um inversor de frequência de 700 W, um controlador de carga de 180 A, módulo de medição e controle e dois acumuladores de carga (baterias) de 180 Ah, Figura 5.

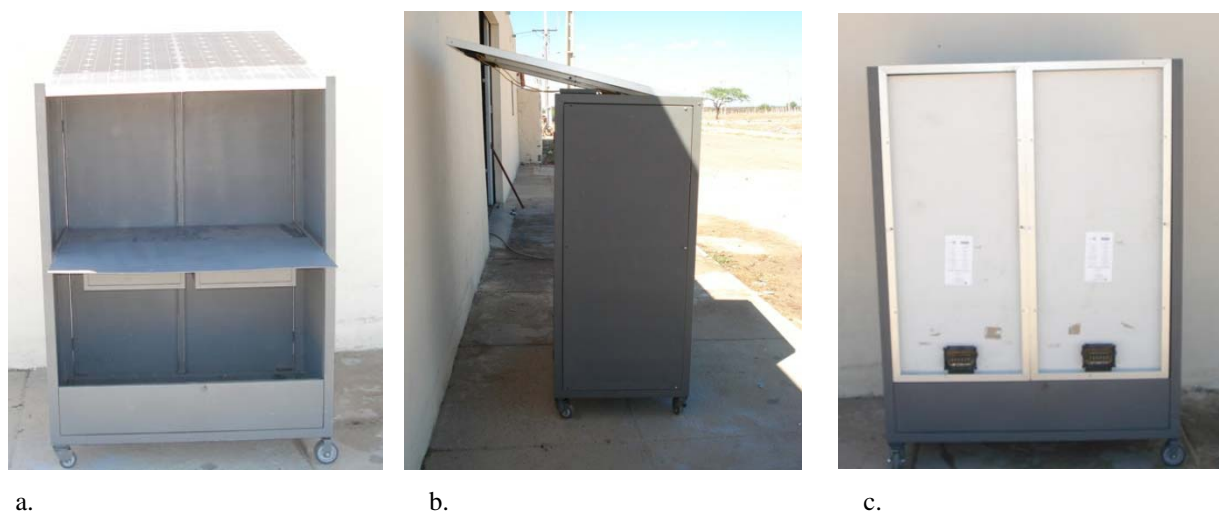


Figura 4 – Armário do sistema móvel didático de conversão solar fotovoltaica:
a) vista frontal, b) vista lateral, c) vista do fundo

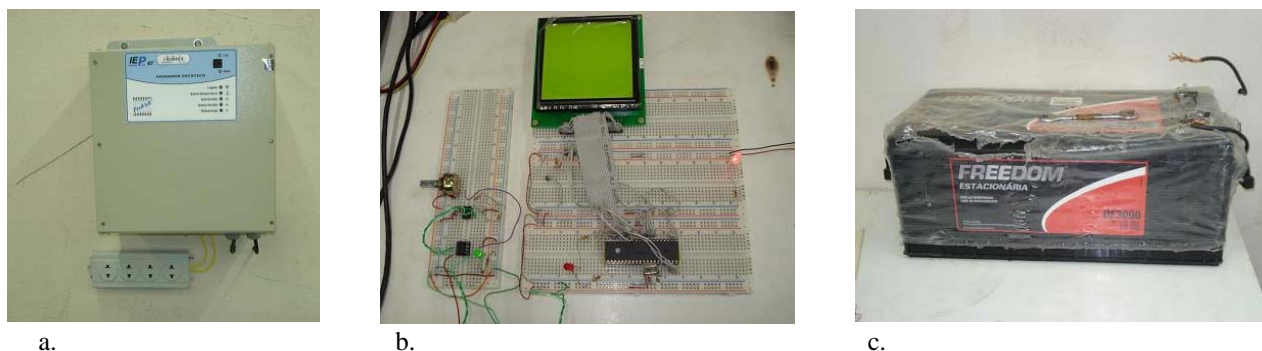


Figura 5 – Equipamentos do sistema solar fotovoltaico: a) inversor de frequência b) módulo de medição e controle c) acumuladores

O sistema de medição e aquisição de dados, ainda em desenvolvimento, é baseado em microcontrolador PIC 16F877 e a apresentação dos valores de tensão, corrente e forma de onda utiliza LCD gráfico. Prevê-se, ainda, uma porta de comunicação serial RS232 para permitir a interação com computador pessoal, facilitando, assim, o estudo de estratégias de controle e sistemas supervisórios, Figura 6.

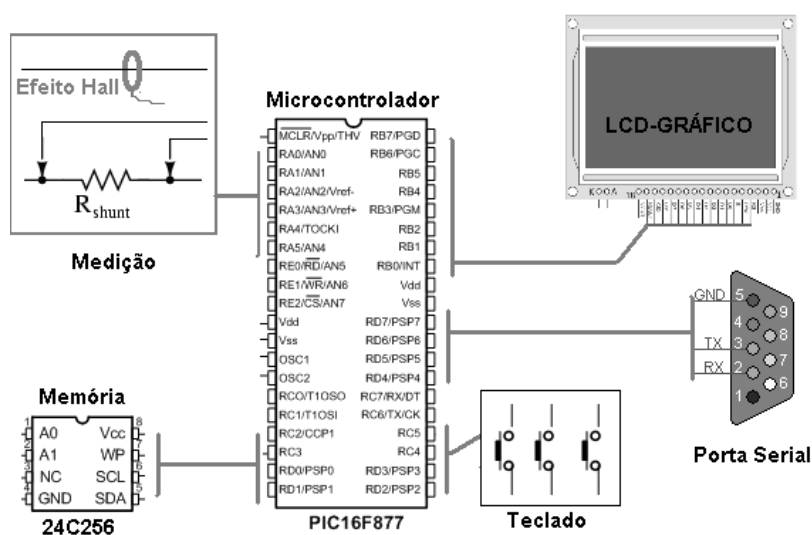


Figura 6 – Diagrama de blocos do sistema composto de medição, memória externa, teclado, LCD gráfico e porta serial

O módulo de medição de corrente contínua é composto de um resistor *shunt* (40A/100mV) e um Amplificador. Na medição de corrente alternado é utilizado transformador de corrente. O microcontrolador PIC 16F877 (figura 6) recebe os sinais amplificados obtidos da medição e converte em sinal digital utilizando um conversor AD interno de 10 bits. Quando necessário os dados são armazenado na memória externa (24C256) ou desenhados no LCD gráfico. O módulo permite, ainda, comunicação com PC através de uma porta serial. A interface homem máquina do módulo é completada com um miniteclado que permite ao usuário alterar e inserir dados ao sistema.

As cargas do sistema solar fotovoltaico serão constituídas por lâmpadas fluorescentes compactas e incandescentes, de forma a evidenciar a diferença no consumo da energia do módulo, micro-bomba, instalada em um sistema hidráulico realimentado e ventilador, bem como uma tomada de uso geral de forma a adaptar outras cargas não previstas inicialmente.

A instalação dos componentes no protótipo deverá ser de forma rápida e modulada, permitindo, assim, a substituição dos mesmos por dispositivos desenvolvidos em disciplinas como eletrônica digital, potência e

automação. Após a conclusão da etapa de execução do protótipo serão desenvolvidos, ainda, manuais e procedimentos das práticas recomendadas.

São propostos, ainda, para utilização do sistema didático em exposições, o desenvolvimento de informativos sobre o uso da energia solar fotovoltaica, bem como uma apresentação multimídia das experiências e realidades deste sistema na região do Sub-médio São Francisco.

3. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram apresentados os conceitos básicos de um sistema solar fotovoltaico, a concepção, desenvolvimento e características de montagem, em fase final, de uma unidade móvel didática compacta, flexível, modulada e de aplicação multidisciplinar.

A experimentação utilizando equipamentos didáticos pode auxiliar no processo ensino-aprendizagem através da participação do educando e da verificação prática dos conceitos desenvolvidos. O sistema móvel didático de conversão solar fotovoltaica utilizado nos cursos do CEFET Petrolina, treinamentos e exposições deverá contribuir para a divulgação das energias renováveis, bem como garantir a capacitação de profissionais no desenvolvimento do projeto e na manutenção deste sistema.

Espera-se, com a conclusão deste sistema de conversão solar, obter um recurso didático inovador para aulas expositivas de sistemas fotovoltaicos e conservação de energia, bem como, para o desenvolvimento de temas ligados ao meio-ambiente.

REFERÊNCIAS

SHAYNI, Rafael Amaral. **Medição do rendimento global de um sistema fotovoltaico isolado utilizando módulos de 32 células**. 2006. 205p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

FERREIRA, Maria Julita Guerra. **Experiência de projetos fotovoltaicos em São Paulo: Modelagem para planejamento energético para comunidades isoladas**. 2002, 187p. Tese (Doutorado em Energia) – Universidade de São Paulo, Instituto de Eletrotécnica e Energia, São Paulo, 2002.

GALDINO, M.A., LIMA, J.H.G. **PRODEEM - O programa nacional de eletrificação rural baseado em energia solar fotovoltaica**. In: Anais do IX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA - CBE. 2002.

SILVA, M.V.M.;BERMAN,C. **Eletrificação rural: Elementos para o debate**. IN: Anais do VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 1999.

KRAUTER,S;KISSEL, J.M. **Renewable Energy in Latin America: Powerful Potential** – Renewable Energy World. July- August. Pp. 260-267. 2004.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Disponível em: www.ibge.gov.br/cidadesat. 2005.

BORGES NETO, Manuel Rangel; CARVALHO, Paulo César Marque de. **Energia solar fotovoltaica no semi-árido: estudo de caso sobre a atuação do PRODEEM em Petrolina-PE**. In AGRENER GD, 2006.

CRESESB (Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito). **Tutorial de energia solar - Princípios e aplicações**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/>> Acesso em 01 ago 2008.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Direção de Pesquisa e Pós-graduação do CEFET - Petrolina pelo apoio e motivação para o desenvolvimento deste trabalho.