ANÁLISE DO APROVEITAMENTO ELÉTRICO DA ENERGIA SOLAR: UMA APLICAÇÃO DIDÁTICA NO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA - UNIR

Gilberto Dias de Lima Júnior [1], Rogério Marcos da Silva [2], Tayana Maria Tavares Marques [3]

Abstract — *Power generation is an important subject on electrical engineer graduation. For this knowledge be efficiently absorbed by the academic, it is necessary to use a simple methodology to generate curiosity and discussion on the subject. This paper presents a brief introduction about the power generation by solar energy, discussing ways of generation, stand-alone photovoltaic systems and concentrating solar power, development of mega-projects around the world, Brazil and Amazon present situation and a case study showing the lifting of the photovoltaic module characteristic curve*

Index Terms — Engineering Education, Huge Projects, Power Generation, Solar energy.

INTRODUÇÃO

Muitos avanços tecnológicos foram possíveis devido à utilização de energia elétrica. Motores elétricos, computadores e aparelhos médicos, por exemplo, foram responsáveis por melhorias na qualidade de vida do ser humano. Nos dias de hoje, não é possível seguir o mesmo ritmo de vida sem o uso desta forma de energia. Assim, para a sua utilização desenvolveu-se ao longo do tempo diversas formas de conversão, através do aproveitamento hídrico, eólico, combustíveis fósseis, e atualmente busca-se encontrar novas formas de geração de energia elétrica.

Devido a essa busca, cabe ao engenheiro eletricista desempenhar um papel fundamental nesse ramo da ciência. Desta forma, deve-se dar um foco ao estudo da geração de energia elétrica no curso superior. No curso de Engenharia Elétrica da Fundação Universidade Federal de Rondônia, na disciplina de Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica, abordou-se a geração hidroelétrica em sala de aula, e complementou-se o tópico sobre geração realizando-se seminários, aberto a toda a comunidade acadêmica. Durante o ciclo de apresentações, foram abordadas as seguintes formas de geração de energia: eólica, solar, nuclear, energia dos oceanos, biomassa, centrais termelétricas, células a combustível, gás natural e carvão mineral.

Para abordagem do tema de energia solar, utilizou-se de apresentação em slides, explanação sobre experimento realizado com a supervisão do professor da disciplina e vídeos informativos discutindo:

- Sistemas fotovoltaicos autônomos
- Sistemas termossolares
- Megaprojetos de geração heliotérmica
- Energia solar no Brasil
- Energia solar na Amazônia.

Ao passar pela atmosfera terrestre, a maior parte da energia solar manifesta-se sob a forma de luz visível de raios infravermelhos e de raios ultravioleta. A captação dessa luz e a transformação dela em alguma forma de energia utilizável pelo homem, como a térmica e elétrica é possível, sendo utilizados para isso equipamentos apropriados para cada uma das finalidades. Se for utilizada uma superfície escura para a captação, a energia solar será transformada em calor. Se utilizadas células fotovoltaicas (painéis fotovoltaicos), o resultado será a eletricidade [1].

Os sistemas baseados no uso da energia transmitida à Terra pelo Sol para geração de eletricidade podem ser divididos em dois tipos básicos: sistemas fotovoltaicos autônomos e sistemas termossolares. Em ambos os casos, a variável básica para o aproveitamento da energia solar é a radiação incidente no coletor [2]. Essa radiação, porém, não atinge de maneira uniforme toda a crosta terrestre. Devido a flutuações climáticas, a radiação solar incidente no limite superior da atmosfera sofre uma série de reflexões, dispersões e absorções durante o seu percurso até o solo. A incidência total da radiação solar sobre um corpo localizado no solo é a soma dos componentes direto, difuso e refletido.

Os níveis de radiação solar em um plano horizontal na superfície da Terra variam principalmente com as estações do ano, devido à inclinação do eixo de rotação da Terra, além da latitude, condições meteorológicas e altitude.

O Brasil possui um ótimo índice de radiação solar, principalmente o nordeste brasileiro, conforme pode ser visto na Figura 1. Na região do semi-árido estão os melhores índices, com valores típicos de 200 a 250W/m² de potência contínua, o que equivale entre 1752 e 2190kWh/m².ano (de 4,8 a 6kWh/m².dia) de radiação incidente. Isto o coloca entre

1 Gilberto Dias de Lima Júnior, Graduando do curso de Engenharia Elétrica pela Fundação Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho, RO, Brasil. gilberto_dlima@hotmail.com
2 Rogério Marcos da Silva Doutorando em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp, Professor Assistente do Departamento de Engenharia Eletrica pela Fundação Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho, RO, Brasil.
3 Tayana Maria Tavares Marques, Graduando do curso de Engenharia Elétrica pela Fundação Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho, RO, Brasil. tayana_tavares@hotmail.com

as regiões do mundo com as melhores condições para o aproveitamento heliotérmico [2].

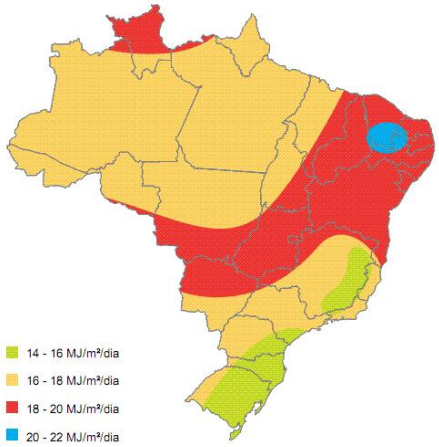

FIGURA. 1
VARIAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR NO BRASIL.

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMOS

Os sistemas fotovoltaicos autônomos consistem na utilização de células fotovoltaicas para geração de energia, onde estas células são fabricadas principalmente com silício, podendo ser de silício amorfo, monocristalino e policristalino.

Através de métodos adequados obtêm-se o silício em forma pura, o qual, não possui elétrons livres sendo, portanto, um mau condutor elétrico. Para alterar isto, acrescentam-se porcentagens de outros elementos, sendo este processo denominado de dopagem. Mediante a dopagem do silício com o fósforo obtêm-se um material com elétrons livres, ou portadores de carga negativa (silício tipo N). Realizando o mesmo processo, mas acrescentando boro ao invés de fósforo, obtêm-se um material com características inversas, ou seja, déficit de elétrons ou material com cargas positivas livres (silício tipo P). Cada célula solar compõe-se de uma camada fina de material tipo N e outra com maior espessura de material tipo P, como pode ser observado na Fig. 1. Separadamente, ambas as camadas são eletricamente neutras. Mas ao serem unidas, exatamente na junção P-N, gera-se um campo elétrico devido aos elétrons do silício tipo N que ocupam os vazios da estrutura do silício tipo P. Ao incidir a luz sobre a célula fotovoltaica, os fótons que a integram chocam-se com os elétrons da estrutura do silício dando-lhes energia e transformando-os em condutores. Devido ao campo elétrico gerado na junção P-N, os elétrons são orientados e fluem da camada P para a camada N. Por meio de um condutor externo, conecta-se a camada negativa à positiva. Gera-se assim um fluxo de elétrons (corrente elétrica) na conexão. Enquanto a luz continue a incidir na célula, o fluxo de elétrons se manterá e a intensidade da corrente gerada variará proporcionalmente conforme a intensidade da luz incidente [3]. Um esquema de uma célula solar pode ser vista na Figura 2.

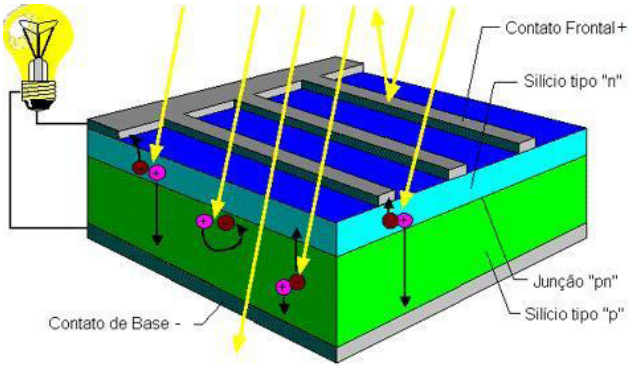

FIGURA. 2
CÉLULA SOLAR.

O módulo é um dispositivo gerador propriamente dito e consiste num conjunto de células fotovoltaicas interligadas e conectadas.

A potência gerada P_g (t) dependerá basicamente de dois fatores, sendo eles a radiação solar horária incidente no plano coletor (painel) e a potência instalada, que estará ligada à área do painel e às características do mesmo e dos demais equipamentos constituintes do sistema condicionador de potência.

A potência gerada num sistema fotovoltaico é dada por (1):

$$P_g(t) = n \, x \, A \, x \, R_s(t) \qquad (1)$$

em que,

n = rendimento total do sistema, composto pelo rendimento do painel solar mais o rendimento do sistema de condicionamento de potência;

A = área do painel solar;

$R_s(t)$ = radiação solar incidente em função do tempo.

A partir desta relação, observa-se que a potência gerada tem relação direta com a área A do painel solar. Essa área, por outro lado, deve ser calculada, considerando as condições locais de aproveitamento. Geralmente, a área é calculada pela expressão: P_i /n x R_{sm}, em que P_i é a potência instalada e R_{sm}, a radiação solar máxima. Desta forma a potência instalada de uma central fotovoltaica é considerada a potência obtida pelo arranjo durante o período de insolação máxima.

As baterias fazem um papel similar aos dos reservatórios nas hidroelétricas, regulando a potência e, portanto assumindo o fator de capacidade do sistema. O rendimento da central é o produto do rendimento do condicionamento da potência e do rendimento do grupo de painéis. O rendimento da célula solar depende do tipo de material e técnicas utilizado para sua fabricação, temperatura e outros fatores externos. Na operação em módulo, a

eficiência do conjunto diminui um pouco devido ao fator de empacotamento, à eficiência ótica da cobertura frontal do módulo, entre outros. Por outro lado, o rendimento de condicionamento de potência depende basicamente da potência de entrada do inversor, variando de zero para uma entrada de alguns por cento de potência nominal, e estabilizando-se a partir de 50% da potência nominal.

A energia anual gerada pelo sistema fotovoltaico pode ser expressa por (2):

$$E_g = P_g \times F_c \times 8760 \text{ h / ano} \qquad (2)$$

em que,

E_g = Energia gerada por ano (kWh/ano);

F_c = Fator de capacidade.

O fator de capacidade do sistema, definido de modo similar ao apresentado pelas hidroelétricas, como a relação de capacidade média no ano e a potência máxima (de pico), depende de:

- Disponibilidade de insolação;
- Perdas no sistema;
- Capacidade instalada dos painéis solares e do conjunto de baterias.

Poucas são as informações a respeito do fator de capacidade máxima de instalação, no entanto já existem dados que o situam entre 25 a 30%.

Os módulos, acoplados em um controlador de carga, disponibilizarão corrente contínua (CC) a uma carga. Caso a carga seja em corrente alternada (CA), é necessário à passagem por um inversor. Neste sistema, também se encontra um banco de baterias utilizado para suprir as necessidades nos períodos noturnos e nublados. O sistema de geração fotovoltaica pode ser observado na Figura 3.

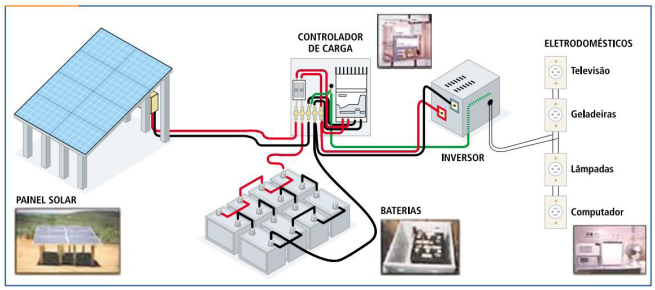

FIGURA. 3
ILUSTRAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DE ENERGIA ELÉTRICA.

Os problemas decorrentes deste tipo de sistema são a utilização de baterias e a fabricação das células, pois alguns processos de fabricação de células fotovoltaicas utilizam materiais perigosos, como o seleneto de hidrogênio. Nas baterias são encontrados vários materiais prejudiciais à saúde do homem, e podem causar muitos problemas ao meio ambiente se não forem armazenadas de forma correta.

SISTEMAS TERMOSSOLARES

Nos sistemas termossolares, a radiação solar incidente na superfície do coletor é capturada, concentrada e dirigida até o sistema no qual será convertida em energia térmica. No sistema de transporte-armazenagem, o fluido é transferido para o sistema, em que a energia térmica converte-se em energia mecânica, por meio dos ciclos básicos termodinâmicos - Ciclo de Rankine (vapor), Brayton (gás), entre outros, dependendo da temperatura e da natureza do fluido. A conversão de energia mecânica em energia elétrica é feita por meio dos mesmos processos convencionais utilizados na geração termoelétrica a combustíveis fósseis. Podem-se encontrar projetos nos quais se apresenta um sistema secundário para períodos de baixa incidência de radiação solar.

De acordo com a captação, os sistemas termossolares podem ser divididos em duas formas. No sistema de conversão heliotermelétrica de receptor central, um campo de espelhos (heliostatos) concentra a radiação em uma torre no centro do campo. O receptor, instalado no alto da torre, transfere a energia solar captada e convertida em energia térmica para um fluido térmico. A escolha do fluido é determinada principalmente pela temperatura de operação do sistema, por considerações de custo-benefício e pela segurança operacional.

No sistema distribuído de conversão heliotermelétrica, a conversão ocorre no próprio coletor solar, que possui forma cilíndrico-parabólico ou disco-parabólico. O concentrador cilíndrico-parabólico é um coletor solar linear de secção transversal parabólica, que acompanha o movimento do sol em um eixo. O disco-parabólico é um coletor de foco pontual que acompanha o movimento do Sol em dois eixos, concentrando a energia solar em um receptor localizado no ponto focal do disco.

MEGAPROJETOS DE GERAÇÃO HELIOTÉRMICA

Os megaprojetos apresentados são a torre solar australiana e a megausina solar no deserto do Saara.

O projeto australiano consiste na construção de uma estufa circular de aproximadamente 4 km de diâmetro, com uma torre central de 1 km de altura. O sol aquece o ar dentro da estufa e devido à diferença de temperatura do ar dentro e fora da estrutura (158°F na base da torre e 68°F na saída), ocorre à movimentação do mesmo obtendo ventos de até 15 m/s que atravessarão 32 turbinas (na base da torre) gerando em até 200 MW. Para evitar que durante a noite, quando não há radiação solar incidindo na estufa, não haja geração de energia elétrica, serão dispostos materiais dentro da estufa, como árvores e rochas, para que durante o dia esses corpos sejam aquecidos e a noite liberarem o calor, movimentando as turbinas [4]-[5].

A usina no Saara pretende, até 2050, produzir 100GW que abastecerá em torno de 15% da população européia. A tecnologia será baseada na produção de energia elétrica por

meio de placas fototérmicas. Milhares de heliostatos dispostos em linha refletem os raios de sol para canos que contêm um fluido, um óleo especial. Esse líquido é aquecido a 100°C e leva o calor até um reservatório com água, onde o contato do óleo quente com a água fria libera vapor, que é conduzido às turbinas. A transmissão da energia será feita a partir de tecnologia de corrente contínua em alta-tensão percorrendo uma extensão de até 2.000 quilômetros, passando pelo mar mediterrâneo [6]-[7].

ENERGIA SOLAR NO BRASIL

No Brasil, apesar de suas condições físicas e climáticas permitirem o aproveitamento da radiação solar, a energia solar é usada principalmente para o aquecimento de água e de ambientes, não possuindo expressão significativa quanto à geração de eletricidade. Contudo, na vila de Araras, localizada no município de Nova Mamoré, Rondônia, encontra-se a única usina fotovoltaica do país, pertencente ao grupo GUASCOR DO BRASIL, contratada pela Centrais Elétricas de Rondônia (CERON), em parceria do Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (LABSOLAR) e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Ela consiste num sistema híbrido fotovoltaico-diesel composto de 32 módulos de 64 W, totalizando 20,48 kW, 32 inversores estáticos de 650 W cada e 3 grupos geradores à diesel de 60kVA (54 W) cada [8].

Também, segundo resultado de simulações de cenários para um eventual Programa Solar Brasileiro, pesquisadores da Universidade Federal de Santa Catarina mostraram que, entre 2012 e 2013, algumas regiões do Brasil já poderão ter preços equivalentes de energia fotovoltaica e energia convencional [9].

ENERGIA SOLAR NA AMAZÔNIA

Na Amazônia, projetos utilizando a energia solar vêm sido desenvolvidos para abastecer comunidades isoladas. A energia solar fotovoltaica, através de um processo de implantação e apropriação tecnológica em regiões isoladas da Amazônia, atende escolas, centros comunitários e igrejas beneficiando cerca de 162 (cento e sessenta e duas) famílias nas localidades: Novo Paraíso, Nova Aliança, Guababara II e Vera Cruz- Município de Benjamin Constant [10].

ESTUDO DE CASO

Um fator determinante para o sucesso do trabalho foi a realização de um estudo de caso. Com o apoio do Grupo de Pesquisa Energia Renovável Sustentável (GPERS), vinculado à Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR) realizou-se o levantamento da curva corrente versus tensão de um módulo fotovoltaico modelo SM55 - Siemens, com potência nominal de 55 W, corrente de curto circuito de 3,45 A e tensão em aberto de 21,7 V. Suas dimensões são aproximadamente 1,3m de comprimento por 33 cm de largura, totalizando uma área total em torno de 0,43 m². Para se gerar 1 Kwh de energia considerando essas condições, usando apenas uma placa semelhante a este, seria necessário um período de exposição constante de aproximadamente 18,2 h. Para esta mesma placa, o rendimento se localiza em torno de 12%.

A experiência foi realizada nas dependências da UNIR, no Campus José Ribeiro Filho, no dia 07 de setembro de 2009 com início às 10h43min e término às 11h40min, aproveitando o período de melhor insolação. Inicialmente utilizou-se um sensor de radiação, acoplado junto à placa, para medir a radiação solar no instante. Este sensor, exposto a uma radiação de 1000 W/m², indica uma diferença de potencial em torno de 75 mV, segundo a referência apresentada pelo fabricante correspondendo a uma irradiância de 1000 W/m², distribuição espectral com AM (air mass) igual à 1,5 e uma temperatura da célula de 25ºC [8]. Durante a realização do experimento, um voltímetro acoplado a este sensor, oscilava entre 65 e 65,5mV, indicando uma radiação em média de 870 W/m². Em seguida, foram realizadas várias medições de tensão e corrente para a obtenção da curva, apresentada na Figura 4. Para este experimento foram utilizados cinco resistores de 10 Ω, cada um com 5 W de carga, associados de maneiras diversas.

A maior potência experimental obtida foi de 35,51 W na qual fora utilizada uma resistência de 5 Ω, obtendo uma corrente de 2,67 A e uma tensão de 13,3 V. Enquanto que a corrente de curto circuito e a tensão em aberto obtidas foram 3,11 A, e 18,2 V, respectivamente.

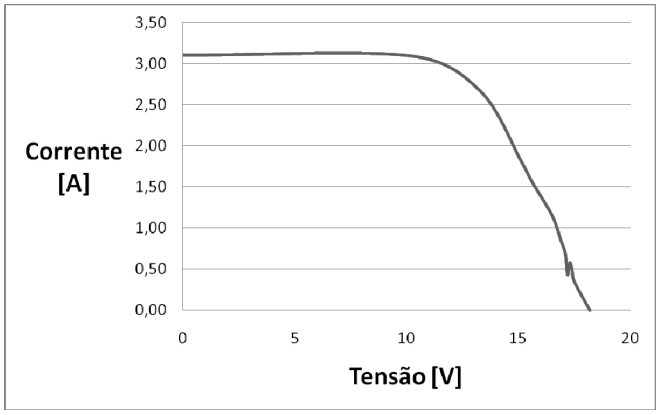

FIGURA 4.
CURVA REFERENTE AO ESTUDO DE CASO: I X V.

A curva tem um comportamento semelhante descrito pela literatura. Analisando-se a forma, percebe-se que a curva se assemelha a um trapézio. Quanto mais próximo de um retângulo a curva se apresentar, mais preciso será o valor máximo de potência sob carga [8].

Comparando-se com as os modelos apresentados por NETO [11] e por KOLLING [12], as curvas que mais se

aproximam desta experiência são as que apresentam como radiação incidente 400 W/m². Observa-se que as tensões em aberto apresentadas por NETO [11] apresentam uma diferença bem elevada, entre 26,5 e 33V, dependendo do modelo e da placa escolhida, enquanto as correntes de curto circuito são praticamente as mesmas. O modelo apresentado por KOLLING [12], demonstra um comportamento inverso: a tensão em aberto é praticamente a mesma, no entanto a corrente de curto circuito está em torno de 4 A .

Essas diferenças podem ser explicadas pela utilização de diferentes características físicas e elétricas para as placas usadas como exemplificação, além de imprecisões inerentes da utilização dos equipamentos.

METODOLOGIA DA APRESENTAÇÃO

O efeito deste tipo de trabalho gera uma fonte de debates, pois cada tópico abordado de forma simples, porém completa, facilita a rápida assimilação e instiga a curiosidade dos discentes.

Para instigar o interesse dos discentes, foram apresentados como motivação inicial, exemplos. No caso da energia solar, um dos atrativos foi o fato de vários equipamentos eletrônicos utilizarem a radiação solar para gerar energia e funcionar, como por exemplo, calculadoras, brinquedos e robôs.

A utilização de imagens coloridas e simples facilita o entendimento de conceitos e propriedades, ainda obscuras para parte dos discentes, como as propriedades semicondutoras e fotoelétricas das células.

Vídeos sucintos, como o utilizado para demonstração do projeto da torre australiana, seduz pela curiosidade e motiva a procura de mais conhecimento, enquanto que a realização de aplicações físicas da teoria incentiva à vontade de também poder realizar a experiência.

CONCLUSÃO

A busca constante por uma educação superior e formação profissional de qualidade depende, entre outros fatores, da forma como o conhecimento é transmitido. Uma das formas de se obter sucesso nesta transmissão é instigar a curiosidade e apresentar a realidade de uma forma atraente e simples ao público.

A opção por energias renováveis tem dado à energia solar um lugar de destaque nas pesquisas em torno do aprimoramento de sua tecnologia, principalmente no que diz respeito a sua transformação em energia elétrica.

Uma forma eficaz de se introduzir o conhecimento da geração energia elétrica proveniente da energia solar é através da miscelânea da teoria e da prática. Abordando seus tópicos principais, sistemas fotovoltaicos autônomos e sistemas termossolares, vídeos e experimentos juntamente a textos com formatos simples são bem sucedidos no compartilhamento do conhecimento, tendo resultados mais eficazes associados a informações, como os megaprojetos utilizando energia solar.

REFERÊNCIAS

[1] Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. 3 ed. - Brasília : Aneel, 2008.

[2] REIS, L. B. Geração de Energia Elétrica: Tecnologia, Inserção Ambiental, Planejamento, Operação e Análise de Viabilidade. São Paulo:Manole, 2003.

[3] Curso de energia solar fotovoltaica, a electricidade que vem do sol. Disponível em: <http://www.scribd.com/doc/4696/Curso-de-energia-solar-fotovoltaica>. Acesso em: 10 ago 2009

[4] EnviroMission Limited - Technology Tech-nology Overview. Disponível em: <http://www.enviromission.com.au/EVM/content/technology_technologyover.html>. Acesso em: 12 ago 2009.

[5] Torre Solar na Austrália. Disponível em: <http://crix.wordpress.com/2006/06/11/torre-solar-na-australia> Acesso em: 11 ago 2009.

[6] BBC Brasil. Megausina solar no Saara fornecerá eletricidade para a Europa. Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=megausina-solar-saara-fornecera-eletricidade-europa&id=010115090716>Acesso em: 11 ago 2009.

[7] Luís Guilherme Barrucho. Uma megausina solar no Saara. Disponível em:< http://veja.abril.com.br/220709/megausina-solar-saara-p-094.shtml>Acesso em: 11 ago 2009.

[8] PINHO, João Tavares et al, SISTEMAS HÍBRIDOS Soluções Energéticas para a Amazônia. 1. ed. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2007. v. 1. 396 p.

[9] Arley Reis, Energia solar no Brasil pode ser vantajosa a partir de 2013. Inovação tecnológica. Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=energia-solar-no-brasil-pode-ser-vantajosa-a-partir-de-2013&id=010115081002>. Acesso em: 10 ago 2009

[10] MORET, A. S.; BORRERO, Manoel Antonio Valdes . Contribuição de combustíveis alternativos na produção de energia elétrica: uma previsão a partir de resíduos agrícolas para o estado de Rondônia. In: IN: X Congresso Brasileiro de Energia, 2004, Rio de Janeiro, 2004.

[11] NETO, J. H. M. ; FERREIRA, R. G. T. . Comparação e análise de modelos para predição das curvas características de sistemas fotovoltaicos. In: III Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, 2009, Belém. III Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, 2009.

[12] KOLLING, E. M.; SOUZA, S. N. M. de. MODELO COMPUTACIONAL APLICADO A GERAÇÃO DAS CURVAS CARACTERÍSTICA I/V DE UM MÓDULO FOTOVOLTÁICO. In: III Congresso da sociedade brasileira de informática aplicada a Agropecuária e Agroindústria (SBI-AGRO), 2001, Foz do Iguaçu - PR. SBI-AGRO, 2001. v. cd-rom. p. 48.