

## PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PAINÉIS SOLARES DE $\text{TiO}_2$ VOLTADOS PARA AGRICULTURA

Heriberto dos Anjos AMARO<sup>1</sup>, J. S. AGNALDO<sup>2</sup>, Gandhimohan Madras  
VISWANATHAN<sup>3</sup>, Luiz Carlos Baldicero MOLION<sup>4</sup>;

1 Aluno do Curso de graduação em Meteorologia, UFAL. Campus A. C. Simões, BR 104 – Norte, Km 97, Cidade Universitária - Maceió – AL, CEP 57072-970. Tel.: (0xx 82) 88465517, heriberto.anjos@gmail.com.

2 Aluno do Curso de pós-graduação em Física, UFAL. Tel.: (0xx 82) 99122807, agnaldo@if.ufal.br.

3 PhD Prof. Adjunto. Instituto de Física, UFAL. Tel.: (0xx82) 32141435.

4 PhD Prof. Tit. Instituto de Ciências Atmosféricas, UFAL. Tel.: (0xx 82) 32141369, molion@radar.ufal.br

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 - GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções – Belo Horizonte – MG.

**RESUMO:** As células solares de  $\text{TiO}_2$ , também conhecidas como células de Grätzel foram desenvolvidas a partir de 1991 e podem em breve chegar ao mercado como uma inovação tecnológica de baixo custo, podendo ser utilizadas em sistemas agrícolas. Essas células utilizam nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  de elevada área de absorção de luz caracterizando uma alta eficiência de conversão de energia. A alta potência da radiação solar em todo território brasileiro justifica uma aplicação de energia fotovoltaica em regiões de difícil acesso à rede elétrica convencional. Neste trabalho, estamos propondo a construção painéis solares de  $\text{TiO}_2$  voltados para irrigação. A área de projetada de cada célula é de  $1 \text{ cm}^2$ , fazendo-se necessário um elevado número de células unitárias na composição de um painel de 63,75 Wp. O objetivo é inserir essa emergente inovação tecnológica em sistemas produtivos.

**Palavras-chaves:** Células solares de  $\text{TiO}_2$ , irrigação fotovoltaica, painel fotovoltaico de  $\text{TiO}_2$

**INTRODUÇÃO:** O rápido desenvolvimento da agricultura industrial em nosso país provocou uma necessidade cada vez maior de se levar energia elétrica em regiões de difícil acesso. A procura por fontes de energia renováveis vem merecendo destaque devido aos impactos ambientais causados pelos efeitos antropogênicos. Assim, a energia solar que é abundante em nosso país surge como uma alternativa em diversas linhas de pesquisa. A energia solar tem a desvantagem de captação em períodos alternados de dias e noites, já que dependendo da forma de consumo, necessita de um sistema de acumulação de energia. Por outro lado, a energia solar apresenta a vantagem da alta potência irradiada sobre a superfície terrestre. A quantidade de energia solar que chega a Terra é cerca de  $3 \times 10^{24} \text{ J}$  por ano, que é cerca de  $10^4$  vezes mais do que consome atualmente a população mundial. Segundo GRÄTZEL (2003), utilizando apenas 0,1 % da superfície do nosso planeta (oceanos e continentes) com células solares de 10 % de eficiência poderiam satisfazer a demanda mundial de energia. Atualmente, já existe condomínio movido 100% a energia solar GONATURE (2009). O aproveitamento desse potencial energético é um grande desafio para a humanidade. Uma forma de conversão de energia solar fotovoltaica é através da célula solar  $\text{TiO}_2$  nanocristalino sensibilizado por corante (CSNS), também chamadas de células de Grätzel O'REGAN (1991). Essas células são de fácil fabricação, dispensando alta tecnologia no processo de montagem, se comparado com o silício. Nesse trabalho, nosso objetivo é mostrar uma forma de conversão de energia solar em energia elétrica que poderá ser utilizada em sistemas agrícolas.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Uma célula fotovoltaica de  $\text{TiO}_2$  - CSNS é composta de duas pequenas placas de vidro, recobertas por um substrato condutor transparente (TCO) de óxido de estanho ( $\text{SnO}_2$ ). Sobre o lado condutor de um desses vidros, é depositado um filme camada com 10-40  $\mu\text{m}$  de espessura, de nanopartículas de  $\text{TiO}_2$ , de 5-30 nm de diâmetro. Esse vidro é então sinterizado a uma temperatura de 450°C, adquirindo características de um semiconductor nanoporoso de elevada área superficial. Sobre essa superfície, através de processos químicos, é adsorbido um corante orgânico sensibilizador. A outra placa de vidro condutor contém uma fina camada catalisadora de platina (Pt) ou grafite que será o eletrodo positivo da célula. As faces condutora, Pt, e semicondutora,  $\text{TiO}_2$ , são colocadas em contato através de um eletrólito líquido de acetonitrila, onde existem íons de iodo em solução. Segundo HUANG (1997), pode-se montar CSNSs com eletrólitos líquido e obter-se eficiência de até 7%. Usando corante orgânico, contendo rutênio  $\text{RuL}_2(\text{NCS})_2$  e eletrólitos ( $\text{CH}_3\text{CN}/\text{NMO}$ ) (peso % 50:50) contendo 0,3 M LiI e 30 mM  $\text{I}_2$ . No final da fabricação, a célula é selada para evitar vazamento do eletrólito, mas já existe CSNS com eletrólito em gel semi-sólido FREITAS (2008). Quando a CSNS está em operação há conversão de iodeto,  $\text{I}^-$  em triiodeto  $\text{I}_3^-$ , no eletrólito de forma regenerativa. Detalhes de montagem de uma CSNS estão sendo mostrados em AGNALDO (2006) e AGNALDO (2009). As vantagens de se usar o  $\text{TiO}_2$  como semiconductor de se devem ao baixo custo e por ser uma substância não-tóxica. O principal uso desse material é na indústria como pigmento branco para dar opacidade em tintas. As explicações dos princípios de funcionamento dessas células fotoeletroquímicas, usando mecânica quântica podem ser encontradas em AGNALDO (2009). Nesse trabalho, estamos propondo o uso dessa nova geração de células fotovoltaicas para sistemas de irrigação. Para isso, estamos projetando um painel formado por módulos fotovoltaicos de 6 Volts em um conjunto série-paralelo (Veja a Fig. 1).

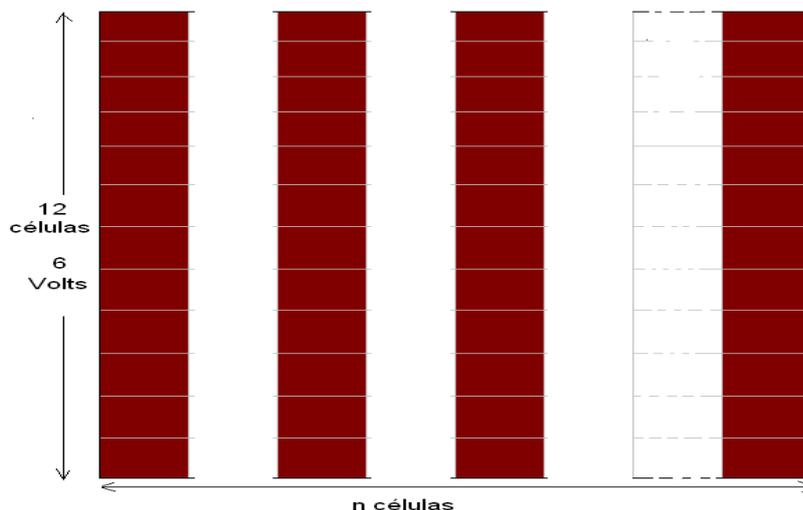


Figura 1 - Painel formado por módulos fotovoltaicos de 6 Volts em um conjunto série-paralelo.

Cada CSNS ao receber luz solar pode gerar uma fotovoltagem de 0,7 Volt e uma densidade de corrente de 15  $\text{mA}/\text{cm}^2$  ( $105 \text{ W}/\text{m}^2$ ). Na avaliação da fotovoltagem média adotada nessa proposta é considerada uma redução de 0,7 Volts que é gerado para 0,5 Volt, devido às perdas ôhmicas desse sistema. A montagem de um painel fotovoltaico

deve ser de acordo com a utilização, em nosso caso, estamos visando uma aplicação direta em sistemas de irrigação em locais de difícil acesso.

As bombas d'água existentes no mercado que utilizam energia solar baseadas em células solares de silício operam em voltagem de 12 e 24 Volts, sendo necessário um par de módulos de geração fotovoltaica de 6 Volts, instalados em série. As fotocorrentes que podem ser alcançadas e as respectivas potências geradas serão mostradas como resultados desse trabalho.

A Fig. 2 mostra uma forma de instalação de sistema fotovoltaico que dispensa o uso de baterias. Esse sistema usa uma caixa d'água como armazenador de energia potencial

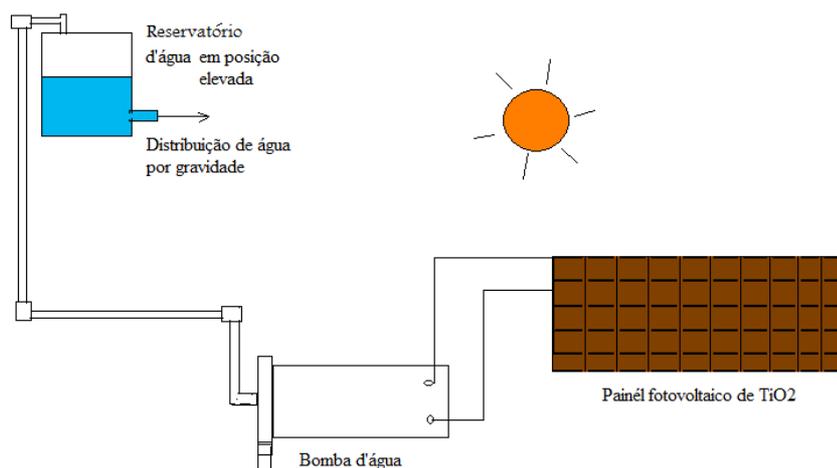


Fig. 2: Esquema de instalação de um painel solar de  $\text{TiO}_2$  voltado para agricultura, instalado de forma direta para fazer funcionar uma bomba de irrigação. Uma caixa d'água serve como armazenador de energia.

dispensando o uso de baterias, barateando os gastos de instalação. Durante o dia o sistema opera o bombeamento d'água que se acumula num reservatório situado em um local elevado. A água assim armazenada pode ser distribuída por gravidade, mesmo durante a noite.

**RESULTADOS E DISCUSÃO:** Nesta proposta, estamos sugerindo uma aplicação para as CSNSs em sistemas agrícolas. Um painel é constituído por um conjunto de módulos, composto de células, associado em série-paralelo. É possível que a energia coletada seja aproveitada de forma indireta, sendo necessário o uso de um sistema de acumulação de energia. Estamos interessados na instalação de forma direta sem a utilização de baterias. Esta forma de operação diminui bastante os custos de instalação e manutenção. O armazenamento de energia pode ser construído através de uma caixa d'água em local elevado. Detalhes desse tipo de instalação usado em células fotovoltaicas convencionais podem ser encontrados em PROGETABRASIL (2009).

	Dimensões (cm)	Potência (Wp)	Tensão de Carga (Vdc)	Corrente (A)	Máx. Conex. em Série	Trilhas em Paralelo	Total de Células
Módulo	13,2x11x2,5	1,27	8,5	0,15	12	10	12x10=120
Painel	142x71x2,5	63,75	17,0	3,75	24	10x5x5	6.000

Tab. 1: Para um painel projetado com células de  $1 \text{ cm}^2$  gerando uma potência de pico de 63,75 Wp é necessário um número elevado de pequenas células.

A Tab. 1 mostra as características de um painel projetado com DSSC de 1 cm<sup>2</sup> gerando fotocorrente de 15 mA/cm<sup>2</sup> e fotovoltagem de 0,7 V. A potência de pico (Wp) avaliada em 63,75 Wp é considerada sob iluminação AM 1,5. Essa potência é calculada para um painel e pode ser multiplicada pelo número de painéis a ser utilizado, dependendo da potência de saída desejada. A área reduzida de cada célula exige um moderno sistema de fabricação para barateamento de custos, pois com células de 1cm<sup>2</sup>, são necessárias cerca de 6.000 unidades para se formar o painel que está sendo proposto. No entanto, pode-se considerar também, a possibilidade de se montar módulos de muitas células em um único processo de fabricação. Na Tabela 1, estão sendo avaliados valores sem perdas considerando um funcionamento ideal. Na tensão de carga 8,5 Volts de corrente contínua, espera-se um aproveitamento médio de 6 Volts para cada módulo, devido às perdas ôhmicas do sistema.

**CONCLUSÕES:** Entre as vantagens de se usar painéis solares de TiO<sub>2</sub>, temos a melhoria de eficiência em temperaturas ambientes elevadas e sob radiação solar difusa DISSERTAÇÃO-AGNALDO (2005) e O'REGAN (1991). CSNSs apresentam eficiência em torno de 7%. Células com áreas pequenas, em torno de 1 cm<sup>2</sup>, tem-se mostrado mais eficientes devido a uma adesão mais uniforme no conjunto TCO/TiO<sub>2</sub>-/eletrólito/Pt. Assim, faz-se necessário um elevado número de células para formar um painel solar. Essas células fotoeletroquímicas são consideradas como células solares de terceira geração e de baixo custo, utilizando nanomateriais. As primeiras células já estão sendo testadas pela indústria nacional podendo surgir em breve como uma alternativa às células convencionais TEZCA (2009). A aplicação dessa inovação tecnológica na agricultura irá contribuir bastante ao desenvolvimento sustentável de comunidades isoladas.

#### **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos as agências de fomento CAPES, CNPq, FAPEL e BNB pelo apoio financeiro oferecido à nossa pesquisa.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AGNALDO, J. S.; BASTOS, J. B. V.; CRESSONI, J. C.; VISWANATHAN, G. M. Célula Solar de TiO<sub>2</sub> Sensibilizado por Corante. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Sbfísica - São Carlos - Brasil, 28, n. 1, p. 77-84, 2006.

AGNALDO, J. S.; CRESSONI, J. C.; VISWANATHAN, G. M. Universal aspect of photocurrent-voltage characteristics in dye-sensitized nanocrystalline TiO<sub>2</sub> photoelectrochemical cells. **Physical Review B** 79, 035308, 2009.

DISSERTAÇÃO-AGNALDO. Dissertação de Mestrado, SANTOS, AGNALDO JOSÉ DOS; Resistência Interna de Células Solares Fotovoltaicas de Si e TiO<sub>2</sub>. Instituto de Física –UFAL, 2005.

Disponível em: <[http://bdtd.ufal.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=43](http://bdtd.ufal.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=43)>. Acesso em: 10 de junho de 2009.

GONATURE. Disponível em: <<http://www.gonature.com.br/blog/09janeiro.html>>. Acesso em: 10 de junho de 2009.

FREITAS, J. N. et al. The role of gel electrolyte composition in the kinetics and performance of dye-sensitized solar cells. **Electrochimica acta** 53, 7166, 2008.

GRÄTZEL, M. Photoelectrochemical Cells. **Nature**, London, 414, 338, 2001.

HUANG, S. Y. et al. Charge Recombination in Dye-Sensitized Nanocrystalline TiO<sub>2</sub> Solar Cells. **J. Phys. Chem. B**, 101, 2576, 1997.

O'REGAN, B.; GRÄTZEL, M. A Low Cost, High Efficiency Solar Cell. **Nature**, London, 353, 737, 1991.

PROJETABRASIL. Disponível em: <<http://www.projetabrasil.com.br>>. Acesso em: 10 de junho de 2009.

PROGETABRASIL. Disponível em:  
<<http://www.projetabrasil.com.br/fotovoltaiico/Aplicacaopaineisolars.pdf>>. Acesso em 10 de junho de 2009.

TEZCA CÉLULAS SOLARES. Disponível em: <<http://www.tezca.com.br/>>. Acesso em: 10 de junho de 2009.