

VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO NA GERAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL PARA IRRIGAÇÃO

J. D. Clabunde¹, R. V. Andreão², G. H. S. Vieira³

RESUMO: Este trabalho apresenta um estudo da viabilidade do uso de sistemas fotovoltaicos aplicados na irrigação por gotejamento. O sistema consiste de acoplamento direto entre um painel fotovoltaico de 150 Wp (Watt-pico) e uma motobomba CC alimentada por 12 V e 7 A, que mediante a incidência de luz solar bombeia água para um reservatório elevado. A irrigação ocorre por gravidade e o volume de água utilizado segue a programação de irrigação do cultivo e variáveis ambientais, como umidade do solo, temperatura e precipitação. Em testes preliminares, em dias claros, observa-se que o sistema é capaz de movimentar até 8,3 L min⁻¹ e o bombeamento de água ocorre em média por 5,5 h dia⁻¹. Cultivando milho (ciclo de 120 dias) numa área de 864 m² de solo franco-argiloso, e a ET₀ (evapotranspiração de referência) dos meses de julho a outubro, o sistema mostrou-se viável para atender às necessidades da cultura, e há energia excedente, que pode ser otimizada em seu uso. Conclui-se, portanto, que o sistema fotovoltaico é viável para cultivar milho no interior do Espírito Santo, em solo franco-argiloso.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência energética, sustentabilidade, cultivo de milho.

FEASIBILITY OF THE USE OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN THE GENERATION OF RENEWABLE ENERGY FOR IRRIGATION

SUMMARY: This work presents feasibility study of the use of a photovoltaic system applied for drip irrigation. Our system is composed by a 150 Wp photovoltaic panel connected to a 12 V CC pump, which under light incidence pumps water to a water tank. The irrigation occurs thanks to the gravity and the water volume used follows an irrigation plan of the cultivation and the environment variables namely soil humidity, temperature and precipitation. During initial tests, during sunny days, it was observed that our system is capable to pump 8,3 L min⁻¹ during 5,5 h day⁻¹. For the feasibility study, it was selected the corn cultivation considering the following reasons: 1) corn's cultivation requires great amount of water; 2) it has a short cycle

¹ Pesquisadora, PPGTS/IFES Campus Vitória. Córrego Estrela, 29706-603. Colatina-ES. Fone: (27) 99505-0404. E-mail: josiane.dalmasio@ifes.edu.br

² Professor, Pós-Doutor, Departamento de Engenharia Elétrica, IFES Campus Vitória, ES.

³ Professor, Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, IFES Campus Santa Teresa, ES.

between planting and harvesting from 120 to 160 days. Considering a land area of 864 m² of an open clay soil, and a short cycle of 120 days, and the ET₀ from July to October, our system has proved to be feasible to attend the cultivation needs, allowing even the extension of the cultivation area. The surplus energy is enough to irrigate a land area with the same size, considering a cultivation with a smaller water demand. In such situation, it would be possible to cultivate beans simultaneously in another land area of 864 m². The decision for the bean's cultivation is explained by the fact that during the fourth phase of the corn's cultivation, there is a considerable increase on water demand.

KEYWORDS: Energy efficiency, sustainability, corn cultivation.

INTRODUÇÃO

Mais que 60% de toda água potável utilizada no mundo é empregada na irrigação. Entretanto os dias atuais são de escassez de água. Os últimos períodos de seca provocaram, de um lado, ações de racionamento de distribuição de água à população, e de outro, períodos críticos para a geração de eletricidade, uma vez que a eletricidade hidráulica corresponde à quase 70% de toda eletricidade gerada no Brasil (PORTAL-ES, 2016) (PROCEL, 2016).

Algumas ações mitigatórias estão ocorrendo, tais como a construção de barragens para armazenamento de água potável, racionamento de irrigação, e inclusive, ações de conscientização da população acerca do uso racional da água. Ainda assim é inevitável o emprego de água para cultivo de alimentos. Contudo, o racionamento de irrigação provoca redução na produtividade, e aumento no valor dos alimentos, por consequência. E a busca por alimentos de origem agrícola é crescente, e tende a aumentar. (PORTAL-ES, 2016) (GREEN, 2005).

A tecnologia de geração de energia solar fotovoltaica (FV) é uma opção capaz de prover auxílio para as duas situações: tanto como um facilitador para projetos de bombeamento de água para irrigação, uma vez que possui estreita relação com a necessidade de umidade do solo, como também com relação à microgeração de energia, que dá autonomia ao consumidor final, e distribui a responsabilidade pela suficiência energética de maneira sustentável, uma vez que o sol é fonte ilimitada de energia, suficiente para suprir a energia necessária no mundo inteiro (MORALES, 2011) (GTES, 2014).

Existem, contudo, detalhes técnicos que podem desestimular que os usuários façam o melhor uso das tecnologias (VIEIRA, 2011), e não é diferente quanto à geração de energia FV.

Por falta de esclarecimento, pode-se acreditar que alguns obstáculos tornam a tecnologia distante, ou inviável. Como exemplos, pode-se citar: conversão da corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA); necessidade ou não de armazenamento da eletricidade gerada através de baterias; e a qualidade da corrente elétrica convertida, que contém harmônicas.

A fim de promover o incentivo à microgeração pode-se adotar projetos que dispensem a necessidade de conversão de corrente ou armazenamento de eletricidade, empregando a eletricidade convertida diretamente no bombeamento da água.

Para cultivar alimentos, normalmente há deslocamento de uma fonte de eletricidade para o local onde há água a ser bombeada para a área cultivada, para manter o solo em níveis de umidade adequados, permitindo a maior produtividade. O uso de uma fonte de energia alternativa e renovável, e irrigação racionalizada, torna-se um desafio a ser enfrentado para otimizar a utilização de eletricidade e água.

O objetivo da presente pesquisa foi verificar a viabilidade do uso de sistemas fotovoltaicos no bombeamento de água para irrigação, e demonstrar resultados que auxiliem os produtores rurais na decisão de aplicar ou não um sistema fotovoltaico na irrigação.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido a partir de dados coletados em campo, no interior do município de Colatina-ES, cujas coordenadas geográficas são, Latitude: 19°28'46"S e Longitude: 40°39'04"W e altitude de 118 m e o local de armazenamento da água situa-se 41 m acima.

O solo típico na área de estudo é franco-argiloso, conforme dados da tabela 1. Utilizando valores-padrão fornecidos pela Embrapa para este tipo de solo, a densidade é $1,35 \text{ g cm}^{-3}$, a umidade do solo na capacidade de campo corresponde a 27%, e o ponto de murcha permanente corresponde a 13% em peso.

O clima típico da região é tropical, quente e úmido, com grande variação de temperaturas no decorrer do dia, com média de 28°C, e maior incidência de chuvas entre os meses de outubro e janeiro.

A configuração do sistema FV objeto desta pesquisa utiliza uma motobomba centrífuga de superfície, de 1/3 CV, Modelo 8000-443-136 (12 VCC, 7 A), acoplada diretamente ao painel solar Canadian Solar, Modelo CS6C-150P de 150 W (18.1 V e 8.3 A), que gera corrente contínua. Não há necessidade de inversores de frequência, uma vez que o motor é alimentado por corrente contínua, e suporta variação na corrente fornecida.

A figura 1 representa o diagrama do sistema, em que, luz solar (1) que incide sobre o gerador FV (2), e a converte em eletricidade (3) que alimenta a motobomba (4), que movimenta água do poço (5) para um reservatório elevado (6), a partir do qual irriga-se o campo de cultivo pelo método de gotejamento (7) por gravidade, cumpridos os requisitos de necessidade de água, os quais estão devidamente descritos a seguir.

Sendo o experimento baseado no plantio de milho, considera-se o período entre o plantio e sua colheita normalmente dividido em quatro fases, as quais em média correspondem a 17%, 28%, 33% e 22% do tempo total, respectivamente para as fases 1, 2, 3 e 4. A duração do ciclo completo do milho varia entre 110 e 180 dias. Quanto menor a duração do ciclo, maior será a necessidade de água em cada turno de irrigação, e por esta razão, a tabela 2 considera um ciclo de 4 meses, ou seja, 120 dias.

Adicionalmente, considera-se a profundidade radicular (EMBRAPA, 2010) entre 40 e 50 centímetros na fase de colheita. A tabela 2 considera 20 cm e 30 cm para as fases 1 e 2, consecutivamente. O coeficiente de disponibilidade hídrica utilizado foi de 0,5, (EMBRAPA, 2010).

Os valores constantes na tabela 2 foram calculados com base nas equações referência empregadas pela Embrapa. A seguir, equações empregadas para obtenção dos resultados descritos na tabela 2.

$$CAD = \frac{((CC - PMP) * d)}{10} \quad (1)$$

Em que,

CAD - capacidade total de água disponível no solo, em milímetros

CC - umidade na capacidade do campo

PMP - ponto de murcha permanente

d - densidade do solo

Para determinar a CAD, foram utilizadas informações do solo e constantes, conforme equação 1, e todos os valores empregados no cálculo de CAD são indicado pela EMBRAPA (2010) para o tipo de solo objeto da análise, e estão disponíveis na tabela 1.

$$Arm = \left(\frac{CC - PMP}{10} \right) * f * d * z \quad (2)$$

Em que,

Arm - lâmina de água armazenada no solo

f - coeficiente de depleção, ou de disponibilidade de água no solo

z - profundidade radicular

Já a lâmina de água armazenada no solo (*Arm*) dá-se pelo cálculo da equação 2, sendo que, *z* é uma variável que leva em consideração a profundidade radicular em cada fase do plantio, cujo valor é indicado por EMBRAPA (2010). Os valores possíveis para o coeficiente de depleção contém-se no intervalo entre 0,4 e 0,85, indicado para plantio de milho.

$$TI = \frac{Arm}{ETc} \quad (3)$$

Em que,

TI - turno de irrigação

ETc - evapotranspiração da cultura selecionada

A quantidade de água que solo é capaz de armazenar é utilizada para calcular o turno de irrigação, e para tanto, utiliza-se também dados de ETc, conforme a equação 3.

$$LL = TI * ETc \quad (4)$$

Em que,

LL - lâmina líquida de água a aplicar no solo

ET₀ - evapotranspiração de referência

Kc - coeficiente de cultura

Os valores da variável Kc empregados são indicados por EMBRAPA (2010). A estimativa da evapotranspiração referência utilizada foi elaborada através do método de Penman-Monteith, o qual é considerado como padrão para a estimativa desta variável (MINUZZI, 2014) (AZEVEDO, 2011) (ULIANA, 2011).

De acordo com a Embrapa (2010), o cultivo de milho raramente requer mais que 3 mm de água por dia, exceto no período entre a floração e a maturação, cujo consumo de água pode variar entre 5 e 7 mm por dia. A água é fator limitante para o cultivo de milho, de modo que a produtividade cresce linearmente com a disponibilidade de água na quantidade próxima do que requer a planta (EMBRAPA, 2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos testes efetuados, em novembro, mesmo no horário de baixa irradiância solar (cerca de 7:00 h da manhã) o gerador FV já era capaz de acionar a motobomba. Já nos testes efetuados em junho e julho, a motobomba era acionada a partir de 8:00 h da manhã. Com cerca de duas horas de funcionamento, o motor foi capaz de alimentar completamente um reservatório de

1000 L, o que significa que foi capaz de movimentar cerca de 8,3 L por minuto. Este desempenho está acima da faixa prevista pelo fabricante, entre 1 e 6 L por minuto. Significa, inclusive, que num dia de plena irradiância, o sistema pode armazenar cerca de 4.500 L de água.

Quanto ao tempo de irradiância, as medições levaram à médias de 8 h por dia nos meses de primavera e verão, e cerca de 4,5 h por dia nos meses de outono e inverno.

O investimento no sistema de bombeamento fotovoltaico tem retorno com cinco anos de utilização, tempo este consistente com a pesquisa de Chandel (2015).

CONCLUSÕES

Considerando um ciclo de 120 dias de cultivo de milho, a evapotranspiração registrada para o município de Colatina dos meses entre julho e outubro, uma área de plantio de 864m² em solo franco-argiloso, o sistema mostrou-se plenamente viável para atender às necessidades de água nas quatro fases de desenvolvimento do milho. Há, contudo, potencial de bombeamento de água superior à necessidade do cenário de teste, o que sinaliza a possibilidade de ampliar a área de cultivo de milho, ou efetuar plantio de outra cultura com menor exigência de água.

Conclui-se viável o sistema fotovoltaico aplicado ao bombeamento de água para irrigação por gotejamento, aplicado em solo franco-argiloso com relevante variação de altitude para cultivo de milho.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, Benito Moreira de; BORGES, Ronaldo Lima Moreira; FERNANDES, Carlos Newdmar Vieira; FAÇANHA, Débora Andréa Evangelista; VIANA, Thales Vinícius de Araújo. INFLUÊNCIA DA METODOLOGIA DE CÁLCULO DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL NA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA. Irriga, Botucatu, v. 16, n. 3, p. 317-328, julho-setembro, 2011

BEY, M.; HAMIDAT, A.; BENYOUCEF, B.; NACER, T. Viability study of the use of grid connected photovoltaic system in agriculture: Case of Algerian dairy farms. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier, v. 63, setembro 2016, p. 333-345.

CHANDEL, S.S; NAIK, M. Nagaraju; CHANDEL, Rahul. Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier, v. 49, set 2015, 1084-1099.

DEVECI, Onur; ONKOL, Mert; UNVER Hakki Ozgur; OZTURK, Zafer. Design and development of a low-cost solar powered drip irrigation system using Systems Modeling Language. *Journal of Cleaner Production*. Elsevier, v. 102, 1 set 2015, p. 529-544.

EMBRAPA. Cultivo do Milho – Clima e solo. Embrapa Milho e Sorgo. 6ª ed. Publicação em setembro de 2010. Disponível em

<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/climaesolo.htm> Acessado em 08 de março de 2017.

FRIZZONE, José Antônio; SOUZA, Francisco de; LIMA, Silvio Carlos Ribeiro Vieira. Manejo da irrigação: Como, quando e quanto irrigar. Fortaleza: INOVAGRI, 2012. 65 p.

FRIZZONE, José Antônio; SOUZA, Francisco de; LIMA, Silvio Carlos Ribeiro Vieira. Avaliação de Equipamentos para Irrigação Localizada. Fortaleza: INOVAGRI, 2012. 52 p.

GOUMOPOULOS, Christos; O'FLYNN, Brendan; KAMEAS, Achilles. Automated zone-specific irrigation with wireless sensor/actuator network and adaptable decision support. *Computers and Electronics in Agriculture*. Elsevier, v. 105, 27 mar. 2014, p. 20-33.

GREEN, R. E., S. J. Cornell, J. P. W. Scharlemann, and A. Balmford. 2005. Farming and the fate of wild nature. *Science* 307.5709:550-555.

GTES (Grupo de Trabalho de Energia Solar). Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. CEPTEL – DTE – CRESESB, Rio de Janeiro, 2014.

MINUZZI, Rosandro Boligon; RIBEIRO, André Júnior; SILVA, Danielle

Oliveira Da; KUNESKI, Ana Carla. ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA POR PENMAN-MONTEITH FAO COM DADOS DE TEMPERATURA DO AR PARA SANTA CATARINA. *Irriga*, Botucatu, v. 19, n. 4, p. 548-558, outubro-dezembro, 2014

MUHSEN, Dhiaa Halboot; GHAZALI, Abu Bakar; KHATIB, Tamer. Multiobjective differential evolution algorithm-based sizing of a standalone photovoltaic water pumping system, *Energy Conversion and Management*. Elsevier, v. 118, 15 jun. 2016, p. 32-43.

PROCEL. Salta a quantidade de brasileiros que geram sua própria energia. Publicado em 27/09/2016. Disponível em <

<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BF5EAADD6-CCB0-4E29-A0C4-482D3D66BB65%7D&Team=¶ms=itemID=%7BD04DDD48-0BFF-4445-8ADB->

49AB744F2978%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D
>. Acessado em 28/09/2016.

RECA, J.; TORRENTE, C.; LÓPEZ-LUQUE, R.; MARTÍNEZ, J. Feasibility analysis of a standalone direct pumping photovoltaic system for irrigation in Mediterranean greenhouses. *Renewable Energy*. Elsevier, v. 85, janeiro 2016, p. 1143-1154.

ULIANA, E. M.; MARTINS, C. A. S.; SILVA, J. G. F. ; CAIRO, C. T. ; REIS, E. F. . ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA O MUNICÍPIO DE COLATINA-ES. In: XI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, 2011, São José dos Campos-SP. *As Contribuições da Ciência Para a Sustentabilidade do Planeta*. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), 2011.

UNESCO, Un Water. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2016. *ÁGUA E EMPREGO: Fatos e números*. 2016.

VIANA, Augusto Nelson Carvalho et al. *Eficiência Energética: fundamentos e aplicações*. Campinas: Elektro, 2012. 314 p.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A.; MONTES, D.R.P. ; CUNHA, F. F. . Custo da Irrigação do Cafeeiro em Diferentes Tipos de Equipamento e Tamanhos de Área. *Engenharia na Agricultura*, v. 19, p. 53-61, 2011.

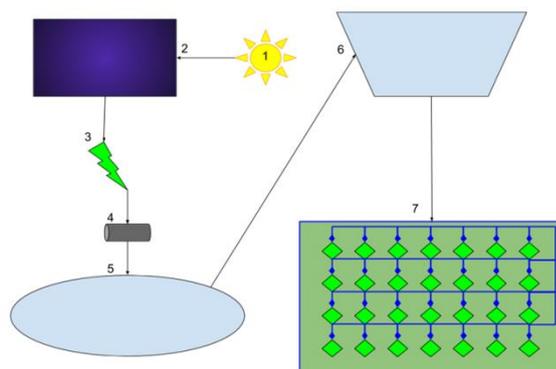


Figura 1. Diagrama do sistema

Tabela 1. Características físicas do solo

Solo Franco-Argiloso	
CC ⁴	27
PMP ⁵	13
d ⁶	1,35
f ⁷	0,5
CAD ⁸	1,89

Tabela 2. Dados técnicos utilizados

Parâmetro	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
Dias	20	34	40	26
z ⁹	20	30	40	50
Arm ¹⁰	18,9	28,35	37,8	47,25
TI ¹¹	8	8	7	15
LL ¹²	18,9	28,35	37,8	47,25
ETc ¹³	2,5	3,6	5,2	3,1
ET ₀ ¹⁴	2,5	3,2	4,0	4,2
Kc ¹⁵	0,92	1,04	1,16	0,75
mm fase	16.329,60	24.494,40	32.659,20	40.824,00
mm dia ⁻¹	800,47	729,00	824,73	1.546,36

⁴ CC: capacidade de campo⁵ PMP: ponto de murcha permanente⁶ d: densidade do solo⁷ f: coeficiente de depleção⁸ CAD: capacidade de campo⁹ Z: profundidade radicular, em cm¹⁰ Arm: lâmina de água armazenada no solo, em mm¹¹ TI: turno de irrigação, em dias¹² LL: lâmina líquida, em mm¹³ ETc: evapotranspiração da cultura, em mm dia⁻¹¹⁴ ET₀: evapotranspiração referência, em mm dia⁻¹¹⁵ Kc: coeficiente de cultivo