

SISTEMA HÍBRIDO SOLAR-DIESEL *ON GRID* EM CULTURA DE CEBOLA IRRIGADA POR PIVÔ CENTRAL

José Eduardo Pitelli Turco¹

Mário Martins Neto ²

Paulo José Desidério de Oliveira³

Dalissa Garbin⁴

Daniel Aparecido Morello da Costa⁵

Energias Renováveis e possibilidades de aplicação

Resumo

Objetivou-se com este trabalho analisar a viabilidade da utilização de um Sistema híbrido fotovoltaico – diesel – conectado à rede e o consumo, custo de energia em cultura de cebola irrigada por pivô central. O trabalho foi desenvolvido no Sítio Santo Antônio, localizado no município de Monte Alto - SP, situado a 21° 15' 40" de latitude sul e 48° 29' 47" de longitude oeste e altitude média de 735 m. A irrigação da cultura foi por pivô central. Foi estimativa da potência total do painel solar fotovoltaico e a potência total do gerador a diesel necessária para suprir a necessidade de energia do sistema de irrigação. Foi estudado o custo da energia elétrica para dois grupos tarifários, Grupo A e Grupo B. Os preços do kWh dos sistemas tarifários de energia elétrica foram obtidos na CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz). Os resultados desse estudo mostram que o Sistema híbrido é uma boa opção para o agricultor uma vez que na falta de energia da concessionária e o sistema solar fotovoltaico não suprir as necessidades de energia do sistema de irrigação o mesmo passará a operar em paralelismo com o gerador a diesel. O Sistema tarifário Grupo B Branca foi a opção mais adequada para a cultura de cebola.

Palavras-chave: sistemas de irrigação, energia renovável, energia convencional.

¹Prof. Associado III – FCAV/UNESP - Campus de Jaboticabal, jose.turco@unesp

²Graduando em Engenharia Agrônoma - FCAV/UNESP - Câmpus de Jaboticabal, mario.martins@unesp.br

³Doutor em Agronomia (Ciência do Solo) pela FCAV/UNESP - Câmpus de Jaboticabal, fluiirti@gmail.com

⁴Aluna de graduação, Faculdade Ites – Taquaritinga, SP, garbindalissa@gmail.com

⁵Mestrando em Agronomia (Ciência do Solo) pela FCAV/UNESP - Câmpus de Jaboticabal, daniel.morello@unesp.br



INTRODUÇÃO

De acordo com El Balla et al. (2013), a cebola é a segunda hortaliça mais valiosa do mundo, atrás apenas do tomate. Cultivada por pequenos e médios produtores principalmente nas regiões sul, sudeste e nordeste.

Nas regiões onde a insuficiência ou a má distribuição das chuvas, em alguns períodos do ano, inviabiliza a exploração agrícola econômica, a irrigação justifica-se como recurso tecnológico indispensável ao aumento da produtividade das culturas, além de contribuir para a utilização mais intensa de recursos produtivos ociosos na propriedade rural (FRIZZONE et al., 1994).

A irrigação é responsável por grande parte do consumo de energia elétrica no meio rural. O correto manejo da irrigação evita o desperdício de energia elétrica e de água (TURCO et al., 2017).

Diversos fatores podem atuar como limitante para a atividade agrícola irrigada, dentre eles pode-se destacar os custos com a energia de bombeamento (PERRONI et al., 2015).

O custo da eletricidade de origem fotovoltaica ainda é considerado alto, quando comparado ao de origem hidrelétrica. Porém, o aumento superior a 60% no custo da energia elétrica, experimentado pelo consumidor brasileiro em 2015, fez com que os olhares voltassem novamente para a energia solar fotovoltaica (VILLALVA, 2015).

Uma das características associadas ao uso de fontes renováveis, além do custo, são a intermitência e disponibilidade desses recursos em determinados períodos devido as incertezas envolvidas nas condições atmosféricas (WAN et al., 2015). Uma das alternativas encontradas para aumentar a confiabilidade desses sistemas é incorporando fontes como geradores à diesel.

Um Sistema híbrido solar-diesel tem maior confiabilidade para a produção de eletricidade do que um Sistema fotovoltaico pois a produção do motor à diesel é independente das condições atmosféricas. Esse cenário proporciona maior flexibilidade, maior eficiência e custos mais baixos para a mesma quantidade de energia produzida (MUSELLI et al., 1999).

Realização



Com este trabalho o objetivo foi analisar a viabilidade da utilização de um Sistema híbrido solar-diesel *on grid* e o consumo, custo de energia em cultura de cebola irrigada por pivô central.

METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido no Sítio Santo Antônio, localizado no município Monte Alto - SP, situado a 21° 15' 40" de latitude sul e 48° 29' 47" de longitude oeste e altitude média de 735 m. O clima é tropical de altitude com verão quente e chuvoso e inverno seco, com precipitação média anual de 1441 mm.

O experimento foi conduzido durante o período de maio a julho de 2020 sob um sistema de pivô central, em uma área de 27.100 m². A área recebeu um tratamento com um regime de irrigação: Tratamento (T1), irrigação efetuada com base na estimativa da evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves (HG).

A cultura instalada na área experimental foi cebola (*Allium cepa* L.), cultivar híbrida Aquarius F1/H, com 90% de germinação estimada, considerada de dias e ciclo curto de produção.

O sistema de produção foi o de transplante de mudas, com alturas médias de 0,20 m em canteiros de 1,00 m de largura, altura média de 0,20 m, com distribuição média de 68 plantas m².

Para a obtenção dos dados meteorológicos foi instalada na área experimental uma estação meteorológica automática (EMA), da marca Campbell Scientific, equipada com sensores para obtenção de dados de temperatura e umidade relativa do ar, psicrômetro de termopares do tipo T desenvolvido por Turco e Fernandes (2003); velocidade do vento, modelo 03001 RM Young Co; e radiação solar global, modelo CM3 Kipp & Zonen.

Realização



A quantidade de água aplicada foi função dos valores da ET_0 , obtidos pelo método de Hargreaves (HARGREAVES, 1994), com o uso do coeficiente da cultura (K_c) inseridos ao longo do ciclo da cultura (0,7; 1,05 e 0,75).

$$ET_c = ET_0 K_c \quad (\text{Eq.1})$$

Onde: ET_c é a evapotranspiração da cultura (mm d^{-1}); ET_0 a evapotranspiração de referência (mm d^{-1}) e K_c é o coeficiente da cultura.

As irrigações foram efetuadas por um pivô central da marca KREBS, com um turno de rega de três dias.

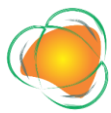
O sistema pivô central utilizou água de um poço artesiano, que possui uma bomba de recalque acoplada a um motor de indução trifásico 17 CV, que alimenta um reservatório d'água. A água do reservatório foi recalçada para os aspersores das torres do pivô central por uma bomba d'água acoplada a um motor de indução trifásico de 20 CV. Para movimentação das três torres do pivô central são utilizados três motores de 1/4 CV.

A estimativa de consumo de energia elétrica dos motores do sistema de irrigação foi realizada considerando os mesmos a plena carga.

Foi estudado o custo da energia elétrica para dois grupos tarifários: Grupo A e Grupo B. Para o Grupo A, foram determinados os dispêndios com a energia para tarifa Verde e Azul (bandeira verde); além da tarifa especial para irrigantes no período noturno (Resolução ANEEL 414 de 09-09-2010, Resolução ANEEL 449 de 20-09-2011, Resolução ANEEL 620 de 22-07-2014 e Resolução ANEEL 663 de 02-06-2015). O preço da energia elétrica foi obtido junto a Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL, Vigência: a partir de 22 de março de 2023.

A estimativa da potência total do painel solar fotovoltaico necessária para suprir a necessidade de energia do sistema de irrigação foi obtida pela seguinte equação:

$$Potência \ Total \ \text{Painel} = \frac{Energia \ Geração}{Tempo \ Exposição \ \eta} \quad (\text{Eq.2})$$



Onde: Potência Total Painel é a potência total do painel solar fotovoltaico (kWp); Energia Geração é o consumo de energia elétrica do sistema de irrigação, média diária (kWh dia⁻¹); Tempo Exposição é o tempo médio de insolação local, adotado 6 horas por dia, para Monte Alto - SP (h dia⁻¹) e η o Rendimento, 80%.

A unidade de medida Watt-pico (Wp), é muito utilizada para painéis fotovoltaicos e corresponde à potência em W fornecida por um painel em condições específicas e reproduzidas em laboratório.

O preço do sistema fotovoltaico *On Grid* (equipamentos mais a instalação) foi estimado de acordo com Nakabayashi (2014).

A estimativa da potência total do gerador a diesel necessária para suprir a necessidade de energia do sistema de irrigação foi obtida pela seguinte equação:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \text{ (Eq.3)}$$

Onde: S é a potência aparente total (kVA); P é a potência ativa total (kW) e $\cos \varphi$, fator de potência do gerador, 0,8.

A potência ativa total do sistema de irrigação foi calculada para motores trifásicos, um de 17 CV e três de 0,25 CV em regime permanente e um motor trifásico 30 CV, partida com Chave Estrela-Triângulo, fator de partida/arranque 3,0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta as lâminas de água diárias recebida pela cultura em milímetros (mm) e o tempo de irrigação, ocorridos durante o desenvolvimento do experimento.

Realização



Tabela 1. Data de irrigação, lâmina aplicada e tempo de irrigação.

Data	Lâmina aplicada (mm)	Tempo (h)
02/mai	5,30	3,62
05/mai	5,30	3,62
08/mai	5,30	3,62
11/mai	5,30	3,62
14/mai	5,30	3,62
17/mai	5,30	3,62
20/mai	5,30	3,62
26/mai	5,30	3,62
28/mai	5,30	3,62
30/mai	8,00	5,43
02/jun	8,00	5,43
06/jun	2,70	1,81
10/jun	4,00	2,72
13/jun	5,30	3,62
15/jun	6,40	4,34
17/jun	8,00	5,43
18/jun	6,40	4,34
21/jun	8,00	5,43
23/jun	8,00	5,43
26/jun	4,00	2,72
02/jul	8,00	5,43
04/jul	8,00	5,43
06/jul	8,00	5,43
08/jul	8,00	5,43
10/jul	5,30	3,62
12/jul	8,00	5,43
14/jul	5,30	3,62
16/jul	1,60	1,09
18/jul	8,00	5,43
20/jul	8,00	5,43
22/jul	1,60	1,09
24/jul	8,00	5,43
27/jul	8,00	5,43
Total	202,30	137,42

O consumo de energia ativa por hectare e a produtividade em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, para o experimento realizado, são apresentados na Figura 1. Morais et al. (2011) que relatam que sistemas de irrigação demandam quantidades significativas de energia elétrica, o que aumenta consideravelmente o custo de produção.

Realização

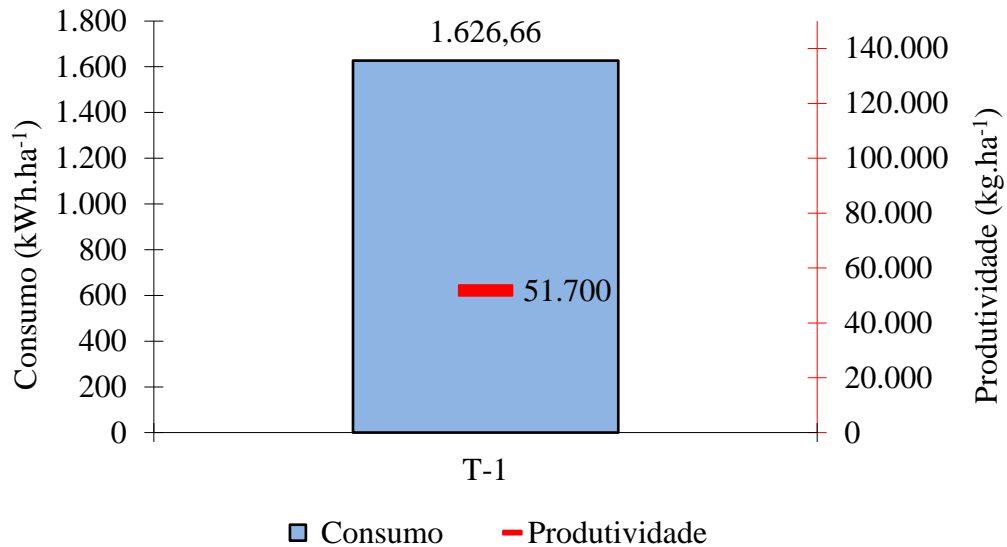
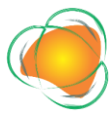


Figura 1. Consumo de energia elétrica ativa e produtividade por hectare.

Tendo em mãos a produtividade da cebola, que foi de 51,7 toneladas por hectare, e o preço recebido pelo agricultor, que foi R\$ 1,14 por quilo de cebola, pode-se verificar qual foi a parcela da receita gasta pelo agricultor com a irrigação.

Na Tabela 2 é apresentado o resultado econômico, em função do gasto do agricultor com a irrigação, para os sistemas tarifários estudados.

A princípio, o custo do consumo de energia elétrica para a produção de cebola parece insignificante diante da renda bruta do agricultor, porém, o custo dos demais tratos culturais é alto, o que torna necessário o presente estudo para que se possa economizar ao máximo onde seja possível.



Tabela 2. Resultado econômico para os sistemas tarifários estudados.

SISTEMAS TARIFÁRIOS	RECEITA (R\$ ha⁻¹)	CCEE (R\$ ha⁻¹)	RESULTADO ECONÔMICO (R\$ ha⁻¹)
Grupo B	58.938,00	1.123,14	57.814,86
Grupo B com desconto	58.938,00	449,26	58.488,74
Grupo B Branca	58.938,00	948,81	57.989,19
Grupo A Verde/Azul	58.938,00	1.263,53	57.674,47
Grupo A Verde/Azul com desconto	58.938,00	379,06	58.558,94

A potência total do painel solar fotovoltaico necessário para suprir a necessidade de energia do sistema de irrigação é de 10,34 kWp. O preço dos equipamentos mais a instalação do sistema solar fotovoltaico conectado à rede (*On-Grid*) com painel solar fotovoltaico de 10,34 kWp é de R\$ 66.279,4

Quando o agricultor tem um sistema solar fotovoltaico e não necessita da energia da concessionária a conta de luz não é zerada. Tem que pagar o Custo de Disponibilidade, regulamentado pela Resolução Normativa no 414 da Agência Nacional de Energia Elétrica, este valor é pago mensalmente.

Para os consumidores Grupo A, a ANEEL define o Custo de Disponibilidade como sendo a parcela da fatura correspondente à demanda contratada. Já nos consumidores do Grupo B, é uma tarifa mínima que difere em relação a instalação local se é monofásica, bifásica ou trifásica. O custo de disponibilidade é correspondente a 30 quilowatts-hora (kWh), se monofásico; 50 kWh, se bifásico; ou 100 kWh, se trifásico. No caso deste trabalho a instalação é trifásica. Portanto, o custo de disponibilidade é o correspondente a 100 kWh.

Neste trabalho foi considerado que o agricultor tem direito adquirido e não precisa atender a entrada em vigor da Lei 14.300, de 6 de janeiro de 2022, em janeiro de 2023.

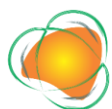


Tabela 3. Resultado econômico para o sistema solar fotovoltaico.

SISTEMAS TARIFÁRIOS	RECEITA (R\$ ha⁻¹)	CCEE (R\$ ha⁻¹)	RESULTADO ECONÔMICO (R\$ ha⁻¹)
Grupo B	58.938,00	76,43	58.861,57
Grupo B Branca	58.938,00	64,57	58.873,43
Grupo A Verde/Azul	58.938,00	591,63	58.346,37

A potência total do Gerador necessário para suprir a necessidade de energia do sistema de irrigação é de 83 kVA.

Por meio do catálogo do gerador STEMAC o consumo é 17,7 l/h. Como o gerador teria que ficar ligado 50,71 horas/há, tempo este necessário para suprir a necessidade de energia do sistema de irrigação e considerando que o preço médio do diesel no Estado de São Paulo é de R\$ 6,71 o litro, em 07-05-2023, o agricultor gastaria o valor de R\$ 6.022,7/há.

Tabela 4. Resultado econômico para o Gerador à Diesel

RECEITA (R\$ ha⁻¹)	CCEE (R\$ ha⁻¹)	RESULTADO ECONÔMICO (R\$ ha⁻¹)
58.938,00	6.022,7	52.915,3

(<https://precos.petrobras.com.br/sele%C3%A7%C3%A3o-de-estados-diesel>)

Considerando que o agricultor não faz opção pela irrigação noturna por medo de perda da produtividade dividido a doenças. A melhor tarifa para o agricultor é Sistema tarifário Grupo B Branca.

Após estudo relacionado ao manejo da irrigação da cultura de cebola verificou-se que frequentemente há falta de energia oriunda da concessionária e que devido ao solo ser

Realização

arenoso e o turno de rega ser no máximo de três dias o funcionamento do sistema híbrido adequado está descrito a seguir.

As Figura 2 ilustra quando o agricultor realizar a conexão de sistema solar fotovoltaico com a rede. Se houver falha da alimentação da concessionária de energia elétrica o inversor deixará de operar em paralelismo com a rede e passará a operar em paralelismo com o gerador a diesel (Figura 3).

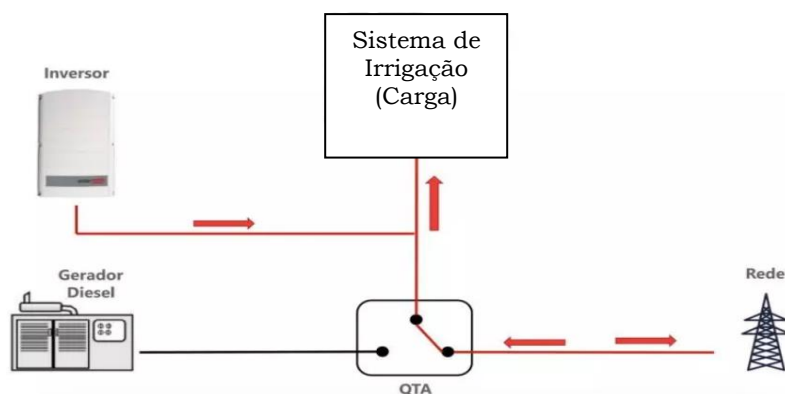


Figura 2. Sistema híbrido solar-diesel *on grid* com rede elétrica presente QTA (quadro de transferência automática).

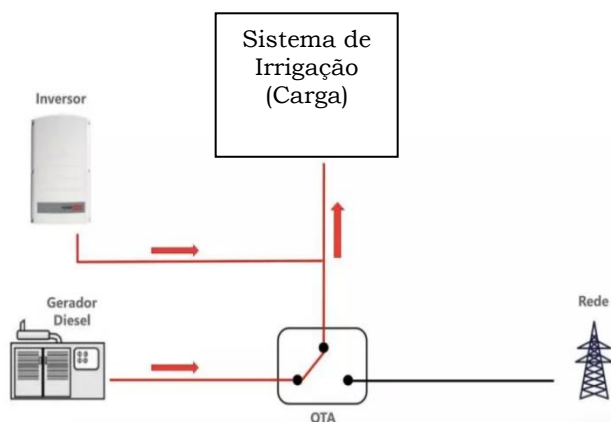


Figura 3. Sistema híbrido solar-diesel *on grid* com rede elétrica ausente QTA (quadro de transferência automática).



A vantagem da estratégia de conexão ilustrada na Figuras 3 é permitir a continuidade da operação do sistema fotovoltaico mesmo quando o consumidor é alimentado pelo gerador a diesel.

A fonte diesel neste caso simplesmente substitui a rede elétrica, sendo responsável pela alimentação de tensão alternada. O inversor fotovoltaico conecta-se à alimentação do gerador a diesel da mesma forma que seria conectado à alimentação da rede elétrica externa.

A vantagem deste modo de conexão é permitir o uso da energia fotovoltaica, economizando combustível. Além da economia, isso permite aumentar a autonomia do sistema.

CONCLUSÕES

Sistema híbrido fotovoltaico – diesel – conectado à rede é uma boa opção para o agricultor uma vez que na falta de energia da concessionária e o sistema solar fotovoltaico não suprir as necessidades de energia do sistema de irrigação ele passará a operar em paralelismo com o gerador a diesel. A melhor tarifa para o agricultor é Sistema tarifário Grupo B Branca uma vez que não faz irrigação noturna.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos donos do Sítio Santo Antônio e a FCAV - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Câmpus de Jaboticabal – UNESP pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

EL BALLA, M. M. A.; HAMID, A. A; ABDELMAGEED, A. H. A. Effects of time of water stress on flowering, seed yield and seed quality of common onion (*Allium cepa* L.) under the arid tropical conditions of Sudan. Amsterdam, **Agricultural Water Management**, v. 121, p. 149-157, 2013.

Realização





FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A.; FREITAS, H. A. C. Análise comparativa dos custos de irrigação por pivô central, em cultura de feijão, utilizando energia elétrica e óleo diesel. **Engenharia Rural**. Piracicaba, v. 5, n. 1, p. 34-53, 1994.

HARGREAVES, G.H. Defining and using reference evapotranspiration. **J. Irrig. Drain. Eng.** v.120, n.6, p.1132-1139,1994.

MORAES, M.J.; FILHO, D.O.; VIEIRA, G.H.S; SCARCELLI, R.O.C. Gerenciamento do lado da demanda no bombeamento de água para perímetro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.25, n.9, p.875-882, 2011.

MUSELLI, M.; NOTTON, G.; LOUCHE, A. 1999. Design of Hybrid Photovoltaic Power Generator, with Optimization of energy Management. **Solar Energy**, v.65, n.3, p.143-157. 1999.

NAKABAYASHI, R.K. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras**. 2014. 107p. 2014. Dissertação Mestrado - Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PERRONI, B.L.T.; FARIA, L.C.; CARVALHO, J.A.; OLIVEIRA, H.F.E. Influência do custo da energia elétrica e do material da tubulação na velocidade econômica de bombeamentos. **Irriga**, Botucatu, v.20, n. 1, p. 13-20, janeiro-março, 2015.

TURCO, J. E. P.; FERNANDES, E. J. Construção e avaliação de um psicrômetro de termopares. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.3, p.468-477, 2003.

TURCO, J.E.P.; RIZZATTI, G.dos.S.; OLIVEIRA, P.J.D.de. Consumo e custo de energia elétrica em feijão irrigado afetado por quatro métodos de manejo de irrigação. **Energia na Agricultura**. Botucatu-SP, v.32, n.2, p.171-177. 2017.

VILLALVA, M.G. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 3.ed. São Paulo: Érica, 2015.

WAN, C. et al. Photovoltaic and Solar Power Forecasting for Smart Grid. Energy Management. **Journal of Power and Energy System**. v. 1, n. 4, p. 38-46, 2015.

Realização