

EMMANUELLE ALBARA ZAGO

**DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR
GOTEJAMENTO UTILIZANDO ENERGIA FOTOVOLTAICA**

CASCVEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2017

EMMANUELLE ALBARA ZAGO

**DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR
GOTEJAMENTO UTILIZANDO ENERGIA FOTOVOLTAICA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na Agricultura da Universidade Estadual do Oeste do Paraná para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira
Coorientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas

CASCVEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO– 2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Ficha catalográfica elaborada por Rosângela A. A. Silva – CRB 9º/1810

Z23d Zago, Emmanuelle Albara
Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento utilizando energia fotovoltaica. / Emmanuelle Albara Zago. — Cascavel – PR: UNIOESTE, 2017.
— 61p.: il. color., enc.

Orientador: Prof. Dr. Jair Antônio Cruz Siqueira
Co-orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza
Co-orientador: Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná,
Campus de Cascavel, 2017
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na
Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
Bibliografia.

1. Irrigação por gotejamento. 2. Geração de energia fotovoltaica. 3. Desempenho – Sistemas de irrigação. 4. Energia Solar. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 20.ed. 627.52

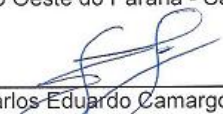
EMMANUELLE ALBARA ZAGO

Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento utilizando energia fotovoltaica

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Fontes Renováveis e Racionalização de Energia Na Agroindústria e Agricultura, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:


Orientador(a) - Jair Antonio Cruz Siqueira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)


Carlos Eduardo Camargo Nogueira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)


Caceia Furlan Maggi

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

Cascavel, 22 de fevereiro de 2017

“Dedico este trabalho a minha família,
fonte de amor e apoio durante toda a
minha vida”

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, que me amou e apoiou em todos os momentos da minha vida e está ao meu lado em mais esse;

Agradeço também ao Gerson, que agora e cada vez mais é parte da família, e continuou ao meu lado, mesmo quando isso se tornou difícil;

Agradeço ao Matheus por todas as horas dedicadas a auxiliar na execução do experimento;

Aos colegas que participaram desse trabalho, a Laís, o Vander, o Magno, o Bruno e todos que contribuíram direta ou indiretamente para que isso se concretizasse;

Aos amigos e colegas da turma, principalmente as “Gurias de Solos” pela amizade e vontade de ajudar sempre que foi possível;

Ao “Meu Bar” e todos os amigos de lá, onde estive em grande parte dos bons momentos dessa trajetória;

Ao orientador e amigo Prof.^o Dr.^o Jair Antonio Cruz Siqueira, pela orientação desde o início e por toda a atenção, auxílio e paciência ao longo desse trabalho;

Aos meus co-orientadores, Prof.^o Dr.^o Marcio Antonio Vilas Boas e Prof.^o Dr.^o Samuel Nelson Melegari de Souza pela dedicação e boa vontade nas horas em que precisei de auxílio;

Agradeço a todos os Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura por todo o conhecimento que acrescentaram à minha formação;

À secretária Vanderléia Schmidt, pela paciência e dedicação ao nosso programa;

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, e à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, pela oportunidade e formação;

À CAPES pela bolsa de estudos que possibilitou dedicação integral a este trabalho.

ZAGO, Emmanuelle Albara. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, abril de 2017. **Desempenho De Um Sistema De Irrigação Por Gotejamento Utilizando Energia Fotovoltaica.** Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira, Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza, Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas

RESUMO

O foco desse projeto foi a utilização de um sistema de bombeamento de água para irrigação por gotejamento. A energia para tal bombeamento foi obtida por meio de um painel fotovoltaico de pequeno porte de eixo horizontal da marca Greatwatt instalado sobre uma torre autoportante e uma bomba d'água da marca SHURflo modelo 8000, o mesmo foi instalado no projeto CASA (Centro de Análises de Sistemas Alternativos). Os ensaios foram realizados em dias de céu aberto, nublado e com poucas nuvens, em diferentes horários e duplicados a cada horário. A energia produzida foi coletada diretamente no local e a capacidade de irrigação foi obtida pela coleta da água e sua uniformidade estimada por meio do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD); O rendimento do sistema apresentou variações de acordo com as características dos ensaios. Os dias de céu aberto apresentaram os maiores valores em relação à energia produzida, com média de até 15,1 Wh. Já os valores de CUC e CUD enquadraram-se dentro da faixa considerada aceitável, sendo a maioria deles considerado excelente ou maiores do que 90%. Desta maneira, pode-se verificar a viabilidade da utilização de um sistema solar fotovoltaico para obtenção de energia destinada a irrigação em pequenas propriedades no município de Cascavel-PR.

Palavras-chave: Sistemas fotovoltaicos; Sistemas de irrigação; Avaliação de desempenho

ZAGO, Emmanuelle Albara. State University of Western Paraná, april 2017. **Performance of a Drip Irrigation System Using Photovoltaic Energy.** Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira, Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza, Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas

ABSTRACT

The focus of this project was the use of a water pumping system for drip irrigation. The energy for such pumping was obtained by means of a small-sized photovoltaic panel of Greatwatt's horizontal axis installed on a self-supporting tower and a water pump of the brand SHURflo model 8000, it was installed in the project CASA (Analysis Center Of Alternative Systems). The trials were performed on sunny days, and cloudy and with few clouds, at different times and duplicates at each time. The energy produced was collected directly at the site and the irrigation capacity was obtained by collecting the water and its uniformity estimated by means of the Christiansen Uniformity Coefficient (CUC) and the Uniform Distribution Coefficient (CUD); The yield of the system varied according to the characteristics of the tests. The open sky days presented the highest values in relation to the energy produced, with an average of up to 15.1 Wh. On the other hand, the values of CUC and CUD were within acceptable range, most of them considered excellent or greater than 90%. In this way, it is possible to verify the feasibility of the use of a photovoltaic solar system to obtain energy for irrigation in small properties in the municipality of Cascavel-PR.

Key words: Photovoltaic systems; Irrigation systems; Performance evaluation

SUMÁRIO

ABSTRACT	vi
SUMÁRIO	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo Geral	2
2.2 Objetivos Específicos	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1. Energias Renováveis.....	3
3.1.1 Energia Solar.....	3
3.1.1.1 Energia Solar Fotovoltaica.....	5
3.1.1.2 Sistemas Fotovoltaicos.....	5
3.1.1.3 Sistemas de Bombeamento de Água Utilizando Energia Solar Fotovoltaica.....	6
3.2 Irrigação	8
3.2.1. Sistemas de Irrigação.....	8
3.2.1.1 Sistema de Irrigação por Gotejamento	8
3.2.1.2 Sistema de Irrigação por Gotejamento Utilizando Energia Fotovoltaica.....	10
3.2.2. Avaliação do desempenho dos Sistemas de Irrigação.....	10
3.2.2.1 Coeficientes de Desempenho dos Sistemas de Irrigação.....	11
4. MATERIAL E MÉTODOS	13
4.1 Localização do experimento.....	13
4.2 Material	13
4.2.1 Módulos Fotovoltaicos Utilizados.....	13
4.2.2 Piranômetro.....	14
4.2.3 Datalogger.....	15
4.2.4. Conjunto Moto-bomba	16
4.2.5. Sistema de Irrigação por Gotejamento	17
4.2.6. Sistema de Medição da Variação de Pressão	19
.....	19
4.2.7. Sistema de captação de água	19
4.2.8. Esquema do Experimento	20
4.3 MÉTODOS	21
4.3.1 Delineamento Experimental.....	21
4.3.2 Medição da irradiância solar.....	22
4.3.3. Medição da tensão do sistema de bombeamento de água fotovoltaico	22

4.3.4. Medição da corrente elétrica do sistema de bombeamento de água fotovoltaico ...	22
4.3.5. Medição da pressão do sistema de bombeamento de água	22
4.3.6. Coleta de água do sistema de irrigação por gotejamento	23
4.3.7. Avaliação da energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico	23
4.3.8. Determinação da Eficiência do Painel Fotovoltaico	23
4.3.9. Avaliação do desempenho do sistema de irrigação por gotejamento	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1 Irradiação Solar nos Ensaios.....	24
5.2 Avaliação da Energia Disponível e Gerada pelo Sistema de Irrigação Fotovoltaico ...	26
5.3 Avaliação da Eficiência Energética do Sistema Fotovoltaico	28
5.4 Avaliação do Desempenho do Sistema de Irrigação	29
5.5 Análise Comparativa Entre a Eficiência do Sistema Fotovoltaico e o Desempenho do Sistema de Irrigação por Gotejamento	31
6. CONCLUSÕES	36
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
ANEXOS	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Atlas Solarimétrico Brasileiro, com Dados da Radiação Solar Diária Média Anual. Fonte: SANTOS, 2014	4
Figura 2: Classificação das Células Fotovoltaicas em Termos dos Materiais Utilizados. Fonte: COELHO, 2008.	6
Figura 3: Sistema de Irrigação por Gotejamento. Fonte: ANDRADE, 2006	9
Figura 4: Painel fotovoltaico instalado. Fonte: (Autor, 2016).....	14
Figura 5: Imagem do Piranômetro. Fonte: Fabricante.	15
Figura 6: Datalogger CR1000, Campbell Scientific. Fonte: (Imagem do fabricante).	15
Figura 8: Bomba. Fonte: (Autor, 2016).	17
Figura 9: Tubos Gotejadores. Fonte: (Autor, 2016).	18
Figura 10: Detalhe de Gotejador. Fonte: Imagem do Fabricante	19
Figura 11: Manômetro	19
Figura 12: Caixa d'água do sistema de irrigação. Fonte: (Autor, 2016).	20
Figura 13: Croqui do Sistema.....	21
Figura 14: Irradiação Solar 04/11	25
Figura 15: Irradiação Solar 12/11	25
Figura 16: Irradiação Solar 08/11	26
Figura 17: CUC X Eficiência, Ensaios	32
Figura 18: CUC X Eficiência, Ensaios	32
Figura 19: CUC X Irradiação, Ensaios.....	33
Figura 20: CUC X Irradiação, Ensaios.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação do CUC.....	12
Tabela 2: Classificação do CUD.....	12
Tabela 3: Especificações do Painel Fotovoltaico.....	14
Tabela 4: Especificações do Datalogger	15
Tabela 6: Especificações da Bomba	16
Tabela 7: Energia Gerada Pelo Sistema (Wh).....	26
Tabela 8: Energia Solar do Sistema (Wh)	27
Tabela 9: Eficiência Energética do Sistema Fotovoltaico.....	28
Tabela 10: Eficiência do Sistema de Irrigação – Valores do CUC	29
Tabela 11: Eficiência do Sistema de Irrigação – Valores do CUD	30

1. INTRODUÇÃO

A energia é um produto indispensável para a vida humana. Devido ao aumento do consumo energético, além da constante preocupação com a preservação do meio ambiente e dos recursos, tornou-se importante a busca por novas fontes de energia que possam ser consideradas “limpas”. Nesse contexto insere-se o estudo das energias renováveis, oriundas de fontes energéticas naturais e que se regeneram.

Como o Brasil possui a maior área agricultável do mundo é necessária uma diversidade no modo de produção. Assim, as formas de energias alternativas enquadram-se em um plano sustentável de desenvolvimento, tanto na área urbana quanto na rural.

Em vista dessa necessidade de desenvolvimento, além da necessidade de diferentes modos para a produção agrícola, torna-se interessante um estudo para implementação de um método de irrigação que utilize energia renovável. Como uma aplicação possível para a energia solar fotovoltaica é o bombeamento de água, aliado à necessidade do uso de água para a irrigação, insere-se um projeto de irrigação baseado no uso dessa fonte energética.

De acordo com Santos (2014), apesar dos custos atuais ainda serem, dentre outros fatores, um empecilho para a utilização de energias alternativas em maior escala, estas fontes denotam ser um forte argumento para o desenvolvimento do setor produtivo e uma opção de sustentação da rotina consumista do planeta em variados fragmentos da economia.

Com isso o presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de um sistema de bombeamento de água utilizando energia fotovoltaica, com o uso de gotejadores para irrigação. Essa avaliação se dará por meio do coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD) e pelo coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), com armazenamento de energia e utilização de um painel fotovoltaico implantado na área de estudo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a influência de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água no desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar a geração de energia elétrica pelo sistema fotovoltaico;
- b) Obter o rendimento do sistema de bombeamento de água fotovoltaico;
- c) Avaliar o desempenho do sistema de irrigação por gotejamento em função do sistema de bombeamento fotovoltaico.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Energias Renováveis

Energia renovável é, por definição, uma energia originada de fontes naturais e que se regeneram, ou seja, quando não é possível estabelecer um fim temporal para sua utilização. São consideradas excelentes alternativas na produção de energia por serem geralmente produtoras de baixo impacto ambiental (PARIZOTTO, 2014).

O uso de energias renováveis é impulsionado pela necessidade de promover ações que possam resultar na mitigação dos impactos ambientais. De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2007), as fontes energéticas renováveis vêm aumentando sua participação na matriz energética nacional. Fontes de energia como a cana de açúcar, hídrica, eólica, solar e de hidrogênio são exemplos de energia considerada renovável e que estão ganhando maior participação em relação às fontes não renováveis.

Contudo, além de toda a sua importância do ponto de vista ambiental, a viabilização de energia a partir de fontes menos poluentes e renováveis deve proporcionar melhorias no âmbito social e econômico. Assim, se a geração de energia a partir de fontes alternativas, além dos benefícios ambientais, servir para ampliar os níveis de desempenho econômicos e sociais, criar-se-ão condições para melhorar o desenvolvimento socioeconômico e ambiental (FREITAS; DATHEIN, 2015).

3.1.1 Energia Solar

Dentre as energias consideradas renováveis destaca-se a energia solar. É obtida por meio da radiação solar, uma fonte produtora de energia natural, gratuita e de baixo impacto ambiental. (NASCIMENTO; HAUSMANN, 2015). Pode-se utilizar diretamente a radiação solar como fonte de energia térmica ou convertê-la diretamente em energia elétrica, através de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico (SIQUEIRA, 2005).

A radiação solar é definida como a energia eletromagnética emitida pelo Sol, onde é produzida através de reações nucleares, que se propaga até a Terra. O total de energia que incide na superfície terrestre em um ano é superior a dez mil vezes o consumo anual de energia bruta da humanidade (PINHO; GALDINO, 2014).

O potencial de energia solar varia em cada região conforme alguns fatores, sendo o principal deles sua localização no globo terrestre. Nesse sentido, o Brasil é um território com alta incidência de irradiação solar, o que torna interessante o investimento nessa área (ANDRADE, 2013).

Conforme se demonstra na figura 1, o Paraná possui um potencial energético oriundo de fontes alternativa, que se tornam capazes de auxiliar na demanda energética de sua capacidade produtiva. Neste potencial estão inseridas a energia eólica, solar, biomassa e hídrica, que podem ser utilizadas em períodos distintos, configurando um maior aproveitamento sazonal de suas características peculiares (SANTOS, 2014).

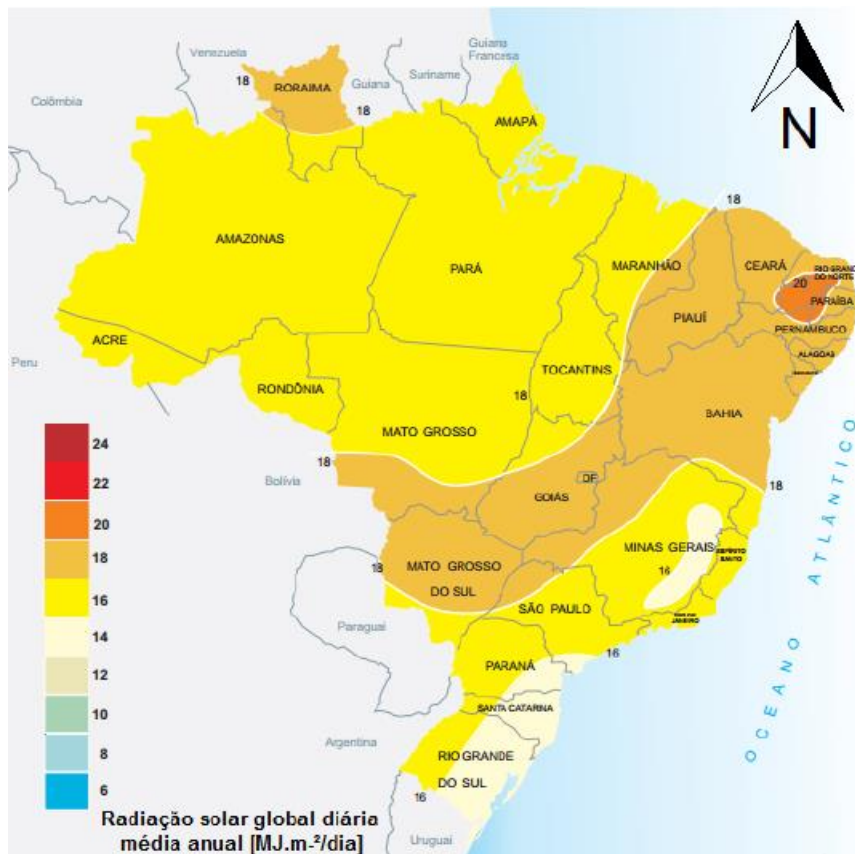


Figura 1: Atlas Solarimétrico Brasileiro, com Dados da Radiação Solar Diária Média Anual.
Fonte: SANTOS, 2014

Dentre as vantagens do uso direto da energia solar destacam-se algumas principais. Primeiramente, sua capacidade de renovação, que, considerando a escala de tempo humana, é quase infinita. Em seguida, não gera grandes impactos ambientais em sua operação, é silenciosa e não poluente. Por último, a viabilidade de sua aplicação e disponibilidade, o que elimina problemas de transporte por

grandes distâncias, diminuindo as perdas por transmissão e distribuição, falhas características do sistema convencional (NASCIMENTO; HAUSMANN, 2015).

3.1.1.1 Energia Solar Fotovoltaica

Pode-se converter diretamente luz em eletricidade, devido a um processo denominado Efeito Fotovoltaico, inicialmente relatado pelo físico francês Edmond Becquerel, em 1839. Ocorre devido ao surgimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. Foi denominado efeito fotovoltaico de maneira a ilustrar o que ocorre neste processo, pois trata-se da junção de 'foto', que em grego significa luz, com 'volt', derivada do nome de Alessandro Volta, pioneiro pesquisador da eletricidade. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão (ALVES, 2008).

A geração é uma das mais fascinantes tecnologias no campo da energia. Sofreu um grande impulso na década de 1950 devido à utilização no programa espacial norte-americano. Desde então, o custo das células fotovoltaicas caiu em um fator de mais de mil, porém esse sistema continua relativamente caro. Seu grau de penetração futuro no mercado é altamente dependente da redução dos custos de produção e do aumento da eficiência das células. Atualmente ocorrem significativos avanços no desenvolvimento de materiais fotovoltaicos de baixo custo e eficiências maiores de 30% foram obtidas (NASCIMENTO; HAUSMANN, 2015).

3.1.1.2 Sistemas Fotovoltaicos

Coelho (2008) define células fotovoltaicas como dispositivos semicondutores com capacidade de converter diretamente a energia solar incidente em energia elétrica. Normalmente uma célula fotovoltaica mede entre 2100cm e 2200cm, sendo capaz de gerar aproximadamente 0,6V de tensão para uma potência entre 1W e 3W. Assim, os módulos fotovoltaicos são constituídos por uma ligação paralela e/ou em série de células fotovoltaicas com o intuito de elevar a potência de saída.

A fim de obter uma melhor geração, associa-se os módulos fotovoltaicos em série ou em paralelo, obtendo assim os arranjos fotovoltaicos. O tipo de ligação entre os módulos determinará o nível de tensão, corrente e potência de saída do arranjo, mantendo-se a direta proporção entre a potência gerada e a área exposta à

radiação solar. Existe relação direta entre o tamanho do módulo e a potência de pico que pode ser gerada, que não ultrapassa 160 W/m^2 para os módulos policristalinos comerciais, enquanto os arranjos fotovoltaicos podem gerar potências de pico muito mais expressivas, desde alguns kW até potências da ordem de MWp (NASCIMENTO & HAUSMANN, 2015).

O desenvolvimento da energia fotovoltaica se deve, em grande parte, ao desenvolvimento das células fotovoltaicas. Uma célula pode ser entendida como um material semicondutor no qual são adicionadas impurezas utilizando o processo de dopagem, sendo que diferentes dopantes causam alterações nas características de tensão e corrente de saída, modificando significativamente a eficiência de conversão da mesma. Com o desenvolvimento dessa tecnologia, diversos materiais passaram a ser utilizados para o desenvolvimento das células. A Figura 2 classifica as células de acordo com o material utilizado (COELHO, 2008).

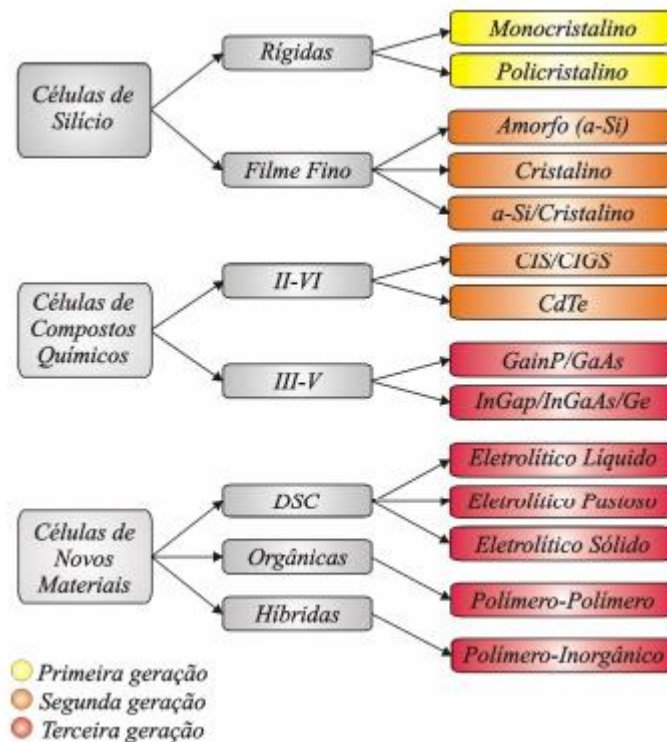


Figura 2: Classificação das Células Fotovoltaicas em Termos dos Materiais Utilizados. Fonte: COELHO, 2008.

3.1.1.3 Sistemas de Bombeamento de Água Utilizando Energia Solar Fotovoltaica

Segundo Melendez (2009), diversas propriedades rurais no Brasil não são atendidas com energia elétrica, visto que estão distantes das redes de distribuição

de eletricidade. Assim, uma das maneiras de garantir seu suprimento energético é a implantação de sistemas baseados em fontes alternativas de energia. Dessa maneira, a energia solar fotovoltaica é uma possibilidade interessante, que pode ser utilizada para bombeamento de água.

De acordo com ANDRADE (2013), para implantar esse tipo de sistema é necessário conhecer a tensão, corrente e potência geradas pelo painel, as características do conjunto motobomba e a irradiação média da região ao longo do ano.

Um sistema de irrigação que utiliza painel fotovoltaico é constituído basicamente por gerador fotovoltaico, equipamentos de condicionamento de potência, conjunto motobomba, sistemas de armazenamento (quando necessário) e sistema de distribuição. Os sistemas mais simples constituem um gerador fotovoltaico conectado ao conjunto motobomba em corrente contínua, que se conecta a um sistema de distribuição, que pode ser o sistema de geração (MORALES, 2011).

Existem, na prática, três tipos de sistemas de bombeamento fotovoltaico. Classificam-se em:

a) Sistemas de baixa potência (50 até 400 Wp), que utilizam principalmente um motor em corrente contínua acionando uma bomba de deslocamento positivo com diafragma. Entre o gerador fotovoltaico e o motor se instala um conversor (corrente contínua/corrente contínua) para otimizar seu acoplamento. Como exemplo, existem os sistemas Solarjack SDS ou Shurflo 9300.

b) Sistemas de média potência (400 até 1500 Wp), formados por duas configurações diferentes: tanto uma bomba centrífuga submersa multiestágios com motor assíncrono acionado por um inversor de frequência variável (sistemas Grundfos com condicionamento de potência tipo SA400 e SA1500) quanto os formados por um motor de corrente contínua sem escovas (nesta faixa de potências podem ter um rendimento maior do que os motores trifásicos de indução convencionais e muito superior aos motores de indução monofásicos) operando uma bomba de deslocamento positivo helicoidal.

c) Sistemas que utilizam de conversor de frequência mais motobomba centrífuga multiestágios ou de deslocamento positivo (ambos de utilização industrial). Esses superam a máxima potência atingida pelos sistemas dedicados à tecnologia fotovoltaica (1600 Wp), tornando-se uma solução viável, eficiente e econômica (MELENDEZ, 2009).

3.2 Irrigação

A irrigação é utilizada no meio agrícola a fim de corrigir a distribuição natural das chuvas. De acordo com Lima et al (1999), através da irrigação pode-se deslocar a água no tempo ou no espaço, ampliando as possibilidades agrícolas de uma região. Utiliza-se irrigação em diversos sistemas de plantio, tanto como forma de complementar a disponibilidade hídrica para uma cultura, quanto como única fonte de água para uma cultura.

Considerando o uso de recursos hídricos de maneira geral, a irrigação é o segmento que mais consome água. O consumo de água para irrigação pode ficar em torno de até 70% do total utilizado, dependendo da região. A fim de otimizar o uso desse recurso, deve-se melhorar a eficiência da aplicação. Para isso existem dispositivos reguladores, que em cada caso devem possuir qualidade compatível com o objetivo esperado (DALRI et al, 2015).

3.2.1. Sistemas de Irrigação

A maneira pela qual a água pode ser aplicada às culturas é denominada método de irrigação. Existem quatro métodos de irrigação: superfície, aspersão, localizada e subirrigação. Em cada um desses métodos, dois ou mais sistemas de irrigação podem ser empregados. A escolha do melhor sistema de irrigação depende de diversos fatores, como solo do local, clima, culturas escolhidas, disponibilidade de energia e condições socioeconômicas para as quais o sistema deve ser adaptado (ANDRADE, 2006).

3.2.1.1 Sistema de Irrigação por Gotejamento

O sistema de irrigação por gotejamento faz parte do método de irrigação localizada, no qual a água é basicamente aplicada em apenas uma fração do sistema radicular das plantas, empregando-se emissores pontuais (gotejadores), lineares (tubo poroso ou “tripa”) ou superficiais (microaspersores). Dessa maneira, a proporção da área molhada varia de 20 a 80% da área total, resultando em economia de água. Com esse método o teor de umidade do solo pode ser mantido

alto, através de irrigações frequentes e em pequenas quantidades, beneficiando culturas que respondem a essa condição (ANDRADE, 2006).

No sistema de irrigação por gotejamento, a água é aplicada de forma pontual na superfície do solo, conforme a figura 3. Pode-se instalar os gotejadores sobre a linha, na linha, numa extensão da linha, ou ser manufaturados junto com o tubo da linha lateral (ANDRADE, 2006).



Figura 3: Sistema de Irrigação por Gotejamento. Fonte: ANDRADE, 2006

Irrigação por gotejamento é utilizada por diversas culturas, em virtude da sua alta eficiência no uso da água. A eficiência e a uniformidade desse sistema de irrigação são afetadas em função da variação dos emissores, variação da pressão por perda de carga e desnível geométrico, além de possíveis obstruções nos emissores (SILVA et al, 2015).

Alguns dos principais componentes de irrigação por gotejamento são os emissores gotejadores. Em se tratando do processo construtivo de um tubo gotejador, uma das maiores dificuldades é fazer com que os emissores sejam capazes de dissipar a pressão disponível e aplicar vazões pequenas, constantes e uniformes, em pontos discretos sistematicamente localizados. Porém, a pressão de serviço dos emissores não deve ser alta, evitando um alto consumo de energia, como também não deve ser muita baixa, para não comprometer seu desempenho hidráulico. Essas condições conduzem à fabricação de emissores gotejadores com reduzido diâmetro da seção de escoamento. Entretanto, deve-se considerar que a seção de escoamento do emissor deve ser a maior possível para evitar obstruções (DALRI et al, 2015).

Como vantagens do sistema de irrigação por gotejamento destacam-se a boa eficiência no uso da água, maior produtividade, maior eficiência na adubação

(fertilizantes podem ser aplicados via água de irrigação) e no controle fitossanitário, economia de mão-de-obra, redução dos gastos com energia e possibilidade de automação. Porém, exige um alto investimento tanto para a instalação quanto para aquisição de equipamentos para captação, condução, controle e distribuição da água, devendo ser considerados gastos com energia e mão-de-obra para operação e manejo do sistema, que representam importantes custos adicionais à produção (VILAS BOAS, 2011).

3.2.1.2 Sistema de Irrigação por Gotejamento Utilizando Energia Fotovoltaica

De acordo com Niedzialkoski (2013), o bombeamento de água é um dos principais usos da energia solar fotovoltaica. No meio agrícola, essa água pode ser utilizada para abastecimento doméstico, irrigação, piscicultura e abastecimento em sistemas de criação de animais.

Dessa maneira, o bombeamento de água por meio de painel fotovoltaico pode representar uma alternativa a famílias em pequenas propriedades rurais, especialmente em regiões áridas e semiáridas. Um sistema de irrigação com painel fotovoltaico é constituído basicamente por um gerador fotovoltaico, conjunto motobomba, sistemas de armazenamento e um sistema de distribuição da água para irrigação (ANDRADE, 2013).

3.2.2. Avaliação do desempenho dos Sistemas de Irrigação

Segundo Werneck et. al. (2009 apud ANDRADE, 2013), irrigação é definida como o conjunto de técnicas destinadas a deslocar a água no tempo ou no espaço para modificar as possibilidades agrícolas de cada região, visando corrigir a distribuição natural das chuvas, proporcionando alcançar a máxima produção.

Um sistema de irrigação pode ser avaliado através de coeficientes de uniformidade de distribuição, os quais expressam a variabilidade de aplicação das lâminas de irrigação. A uniformidade dos sistemas de irrigação é influenciada por diversos fatores, porém, de modo geral a irrigação por aspersão tende a perder mais água para o ambiente do que por gotejamento, devido a evaporação (ANDRADE, 2006).

Werneck et. al. (2009 apud ANDRADE, 2013) aponta que um sistema de irrigação deve apresentar uma boa uniformidade de distribuição de seus emissores

para ter um bom desempenho. Esta uniformidade está associada à variabilidade da lâmina de irrigação ao longo da área molhada, sendo expressa por índices ou coeficientes, sendo os mais utilizados o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD).

3.2.2.1 Coeficientes de Desempenho dos Sistemas de Irrigação

Segundo Cunha (2006), a uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação localizada pode ser expressa por meio de vários coeficientes. O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), apresentado na Equação 1, foi adaptado do que é utilizado na avaliação da irrigação por aspersão.

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}|}{n_e \bar{q}} \right] \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

q_i = vazão de cada gotejador, $L h^{-1}$;

\bar{q} = vazão média dos gotejadores, $L h^{-1}$; e

n_e = número de gotejadores.

Há ainda outro coeficiente a ser avaliado, o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), que é dado em porcentagem (%) e expresso pela equação 2 (CUNHA et al, 2006).

:

$$CUD = 100 \frac{q_{25\%}}{\bar{q}} \quad (\text{Eq. 2})$$

em que:

$q_{25\%}$ = valor médio dos 25% menores valores de vazões observadas, $L h^{-1}$.

Andrade (2013) traz a tabela 1 com os parâmetros de classificação do CUC:

Tabela 1: Classificação do CUC

CUC	Classificação
90% - 100%	Excelente
80% - 90%	Bom
70% - 80%	Regular
60% - 70%	Ruim
< 60%	Aceitável

O mesmo autor traz a tabela 2 com os parâmetros de classificação do CUD, de acordo com a metodologia de MERRIAN & KELLER (1978 *apud* ANDRADE, 2013):

Tabela 2: Classificação do CUD

CUD	Classificação
100 - 94	Excelente
87 - 81	Bom
75 - 68	Regular
62 - 56	Ruim
< 56	Aceitável

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização do experimento

O experimento foi realizado no Centro de Análise de Sistemas Alternativos de Energia(CASA) localizado na Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, campus de Cascavel-PR, tendo latitude 24°59' Sul, Longitude 53°23' Oeste e altitude de 758 metros com relação ao nível do mar. Foi instalado um sistema de irrigação por gotejamento com uma motobomba alimentada por um sistema de geração fotovoltaico. O sistema de irrigação, composto pela bomba e os tubos gotejadores, está localizado dentro do laboratório (CASA) enquanto o sistema de geração, composto pelos módulos fotovoltaicos, está localizado em ambiente externo, próximo ao laboratório.

4.2 Material

4.2.1 Módulos Fotovoltaicos Utilizados

O sistema fotovoltaico é composto por 3 módulos fotovoltaicos da SOLARTEC, modelo KS50, com células de silício policristalino. Cada módulo possui potência nominal de 50Wp e tensão nominal de 12V. As demais características técnicas dos módulos são apresentadas na Tabela 3. Os módulos fotovoltaicos foram associados em paralelo, formando um painel fotovoltaico de 150WP, como pode ser visto na Figura 4.



Figura 4: Painel fotovoltaico instalado. Fonte: (Autor, 2016).

Na tabela 3 a seguir consta a especificação técnica do Modelo KS50 da Solartec:

Tabela 3: Especificações do Painel Fotovoltaico

Massa	5,90 kg
Potência Máxima	50 W
Tensão de Potência Máxima	16,7 V
Corrente de Potência Máxima	3,00 A
Tensão de Circuito Aberto	21,5 V
Corrente de Curto Circuito	3,10 A
Dimensões	1280x344x36 mm

4.2.2 Piranômetro

As medidas de irradiação solar global foram feitas em um piranômetro da marca Kipp & Zonen, modelo CMP3, com uma sensibilidade de $15,30 \mu\text{V W}^{-1}\text{m}^2$, conforme Figura 5. O piranômetro foi instalado junto ao painel fotovoltaico, de maneira a permanecer na mesma inclinação do painel.



Figura 5: Imagem do Piranômetro. Fonte: Fabricante.

4.2.3 Datalogger

A coleta e armazenamento de dados foi realizada com o auxílio de um datalogger da Campbell Scientific, LoggerNet. A Figura 6 mostra o Datalogger e a Tabela 4 apresenta as especificações técnicas do equipamento.



Figura 6: Datalogger CR1000, Campbell Scientific. Fonte: (Imagem do fabricante).

Tabela 4: Especificações do Datalogger

Modelo	CR1000
Dimensões	23,9 x 10,2 x 0,85 cm
Peso	1000 g
Alimentação	9,6 a 16 Vcc
Temperatura de Operação	-25 °C a 50 °C

4.2.4. Conjunto Moto-bomba

Para o bombeamento d'água foi utilizada uma bomba hidráulica de superfície com bombeamento por diafragma da marca SHURflo modelo 8000 (Figura 8), utilizada para aplicações residenciais ou rurais que necessitem de alta pressão. A bomba hidráulica possui altura manométrica de 42,25 m e vazão de até 6,5 l/min, além de operar com tensão de 12 V. As características técnicas da bomba são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 5: Especificações da Bomba

Altura de Recalque Máxima	42,25 m
Peso	2 Kg
Alimentação	12 V
Conexão	1/2"
Diâmetro de Tubulação	1/2" a 1"
Dimensões	215 x 114 x 104 mm
Vazão	490 L/h (sem recalque)
Consumo	5,0 A até 7,3 A



Figura 7: Bomba. Fonte: (Autor, 2016).

4.2.5. Sistema de Irrigação por Gotejamento

O sistema de irrigação por gotejamento foi ensaiado no laboratório do projeto CASA. Foram utilizadas quatro fitas de gotejamento, com gotejadores distanciados a cada 20 cm. As fitas têm 4 m de comprimento e estão distanciadas em 40 cm entre si, conforme Figura 9. A Figura 10 apresenta um detalhe do gotejador inserido no tubo.



Figura 8: Tubos Gotejadores. Fonte: (Autor, 2016).



Figura 9: Detalhe de Gotejador. Fonte: Imagem do Fabricante

4.2.6. Sistema de Medição da Variação de Pressão

A pressão da água que sai da bomba foi aferida através do uso de um manômetro de glicerina que mede de 0 a 6 bar de pressão, conforme figura 11. O manômetro foi instalado na saída da água, a fim de registrar a pressão inicial do sistema. Além disso, há outro manômetro similar instalado no final da linha de gotejamento, de maneira a verificar a pressão no final do sistema, assim se obtendo a variação de pressão d'água ao longo dos tubos gotejadores.



Figura 10: Manômetro

4.2.7. Sistema de captação de água

O sistema de captação de água é constituído por uma caixa de água de 1000L (Figura 12) instalada do lado de fora do laboratório. A água é bombeada da caixa de água até o sistema de irrigação por meio de uma mangueira em polietileno de 1/2" de diâmetro.



Figura 11: Caixa d'água do sistema de irrigação. Fonte: (Autor, 2016).

4.2.8. Esquema do Experimento

Na figura 13 é possível observar um croqui esquemático do sistema, com a localização de cada item utilizado nos ensaios.

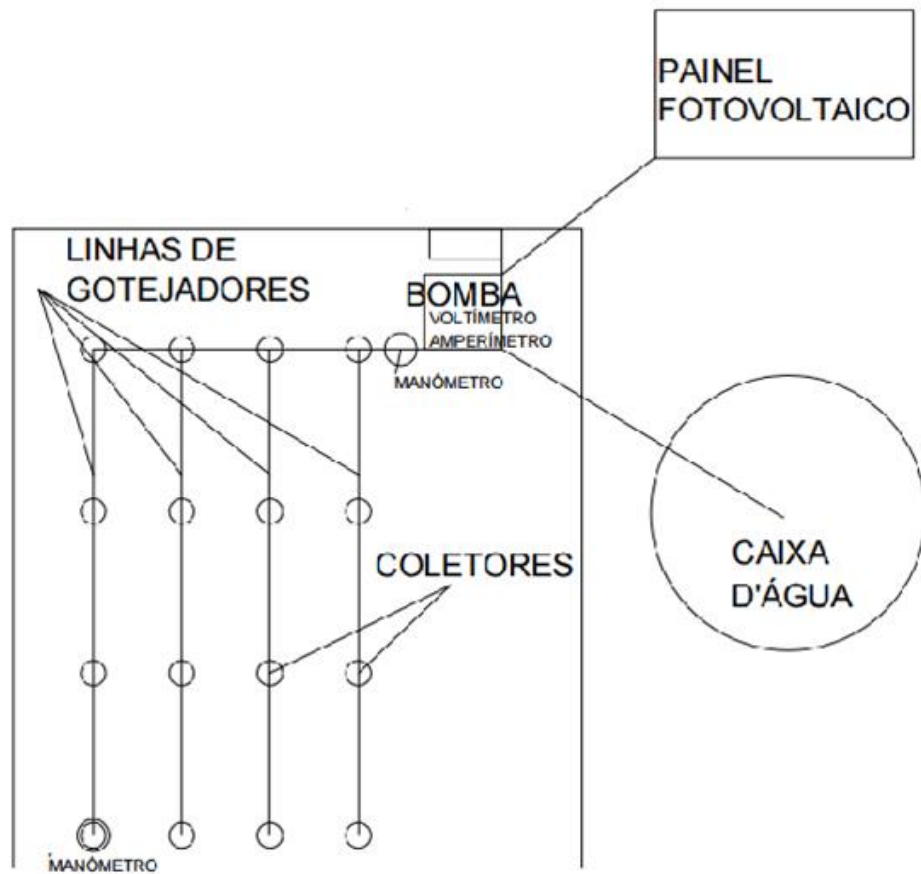


Figura 12: Croqui do Sistema

4.3 MÉTODOS

4.3.1 Delineamento Experimental

Os ensaios foram realizados em dias de céu aberto, céu nublado e com poucas nuvens, sendo cinco dias para cada classificação de insolação, totalizando quinze dias de coleta. Em todos os dias, os ensaios foram realizados em três horários diferentes, ou seja, às 10:30, às 12:30 e às 14:30, com duração de 10

minutos cada ensaio. Além disso, todos os ensaios foram duplicados, ou seja, realizados duas vezes a cada horário.

4.3.2 Medição da irradiância solar

A irradiância solar foi medida através do piranômetro Kipp & Zonen, modelo CMP3 (descrito nos materiais), que coleta dados da irradiação solar que chega ao sistema. As coletas foram programadas para ocorrer a cada 20 (vinte) segundos, que ficarão armazenados no datalogger e coletados com o notebook. Esses dados encontram-se na tabela em anexo e foram utilizados para estimativa da eficiência do sistema fotovoltaico.

4.3.3. Medição da tensão do sistema de bombeamento de água fotovoltaico

A tensão do sistema de bombeamento foi obtida a partir da ligação de um multímetro em paralelo com a ligação elétrica da bomba. Durante o funcionamento do sistema foram aferidos os valores de tensão a cada cinco minutos, utilizando a tensão média de cada ensaio nas tabelas anexas e para os cálculos da eficiência do sistema.

4.3.4. Medição da corrente elétrica do sistema de bombeamento de água fotovoltaico

A corrente do sistema de bombeamento foi obtida de maneira similar ao aferimento da tensão, porém dessa vez a partir da ligação de um multímetro em série com a ligação elétrica da bomba. Portanto, foram aferidos os valores de tensão a cada cinco minutos, utilizando a tensão média de cada ensaio nas tabelas anexas e para os cálculos da eficiência do sistema.

4.3.5. Medição da pressão do sistema de bombeamento de água

A pressão do sistema foi aferida com o uso de dois manômetros analógicos: O primeiro instalado acoplado na saída da água a partir da bomba; já o segundo acoplado no ponto final do tubo gotejador, teoricamente no ponto onde há maior

perda de carga sofrida ao longo da tubulação. Assim, foram obtidos dados sobre diferença de pressão ao longo do sistema para determinar a eficiência do sistema de irrigação.

4.3.6. Coleta de água do sistema de irrigação por gotejamento

A coleta da água foi realizada com o uso dos copos coletores. Esses coletores ficaram dispostos abaixo do sistema de gotejamento, coletando a água emitida por cada gotejador. Os ensaios tiveram duração de dez minutos e ocorreram em períodos de uma hora. Para avaliação da uniformidade de distribuição, cada ensaio contou com 16 coletores, dispostos em 4 linhas laterais ao longo dos tubos gotejadores. Assim, cada tubo gotejador contou com 4 coletores, no início, pontos intermediários e no final de cada linha de gotejamento. Esses valores foram armazenados e utilizados para estimativa do CUC e CUD de cada ensaio.

4.3.7. Avaliação da energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico

A energia gerada pelo sistema fotovoltaico foi avaliada calculada através da equação 3, apresentada a seguir.

$$Ed = Rt \times t \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

Ed = Energia produzida pelo sistema

Rt = Irradiância Solar

t = Tempo

4.3.8. Determinação da Eficiência do Pannel Fotovoltaico

A eficiência dos painéis foi calculada através da equação 3.

$$\eta_p = \frac{E_c}{E_d} \times 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

η_p = Eficiência do painel

E_c = Energia consumida

Em que a energia consumida pelo sistema vem da equação 4.

$$E_c = P \times t \quad (\text{Eq. 4})$$

4.3.9. Avaliação do desempenho do sistema de irrigação por gotejamento

O desempenho do sistema de irrigação por gotejamento foi verificado com o uso dos Coeficiente de Uniformidade de Distribuição e do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, adaptado ao sistema de gotejamento. A coletas foram realizadas nos pontos determinados e os dados coletados servem para determinar a uniformidade da distribuição de água.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Irradiação Solar nos Ensaios

A **irradiação** solar nos dias de coleta de dados foi medida a cada 20 segundos, e esses dados foram armazenados no datalogger, em intervalos de dez minutos. Assim, foi possível utilizar a **irradiação** nos momentos exatos dos ensaios

a fim de se calcular a energia disponível e consumida pelo sistema, além da eficiência do painel.

Com os dados obtidos nos dias de coleta foi possível gerar gráficos que demonstram os picos de radiação. A Figura 14 representa a variação de radiação típica por horário em um dia de céu aberto, no caso, do dia 04/11.

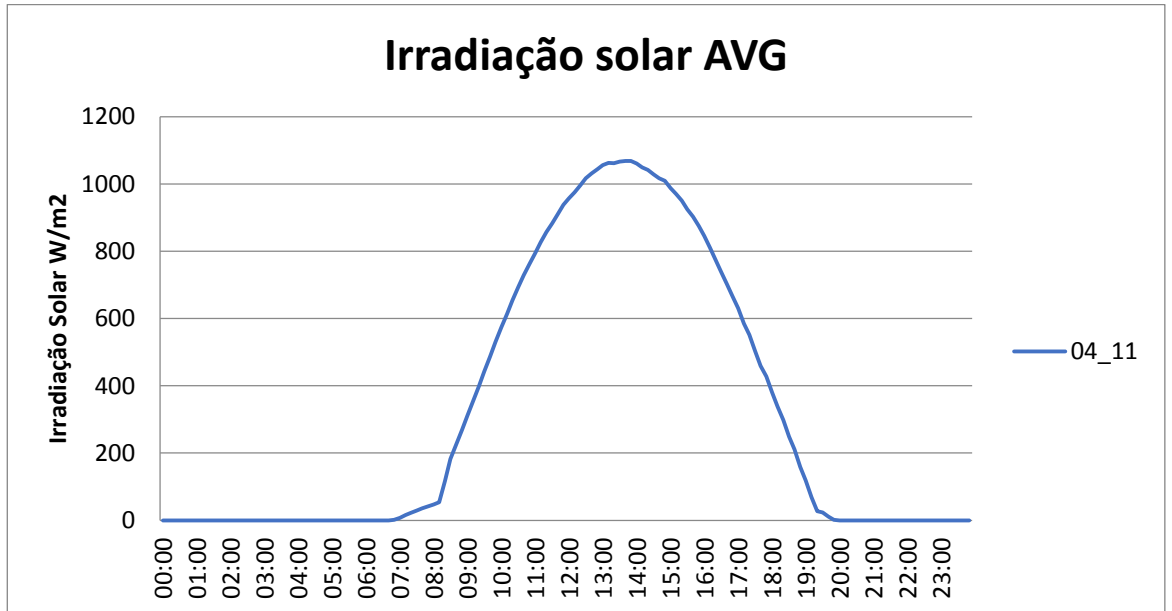


Figura 13: Irradiação Solar 04/11

De maneira similar, a Figura 15 representa a variação de radiação em um dia considerado com poucas nuvens, no caso, o dia 12/11.

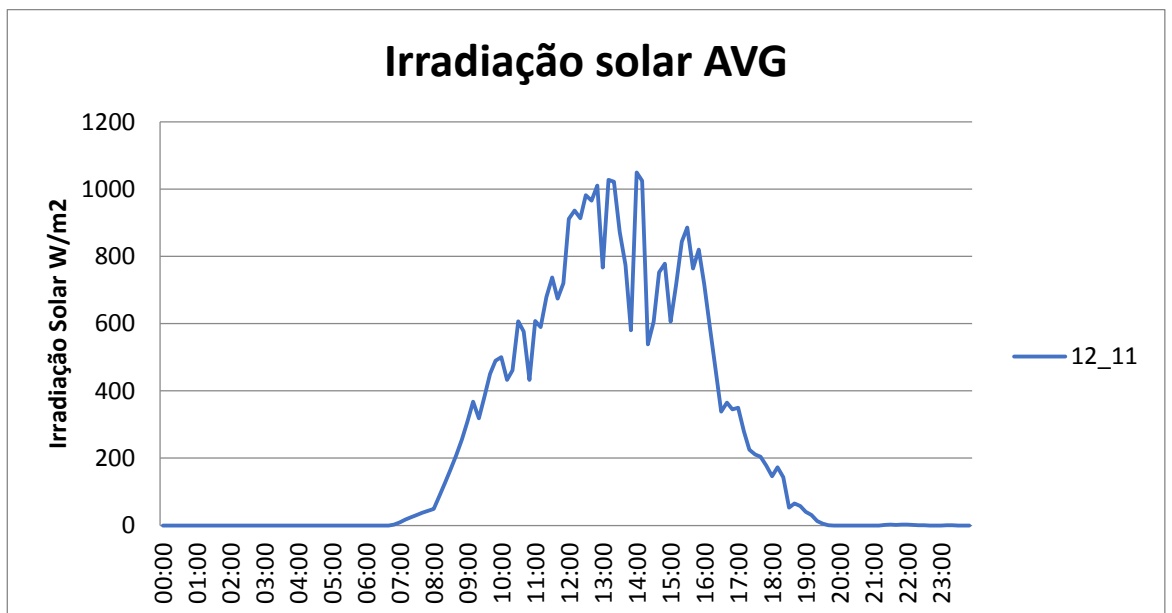


Figura 14: Irradiação Solar 12/11

Por sua vez, a Figura 16 (08/11) apresenta um gráfico de variação de irradiação em um dia nublado.

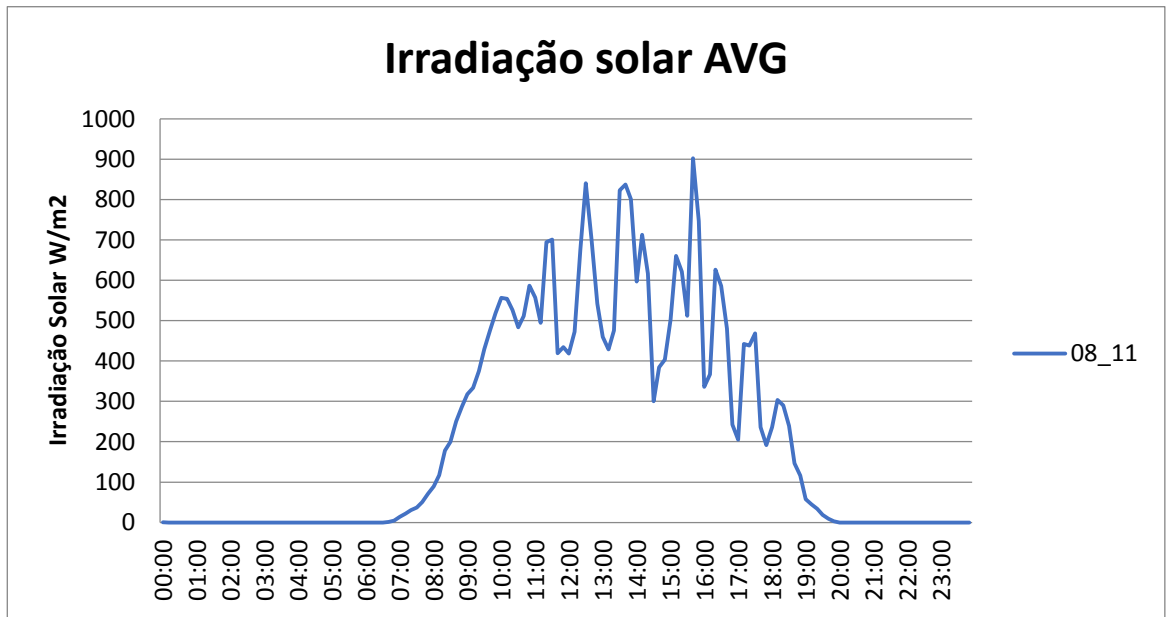


Figura 15: Irradiação Solar 08/11

Nas tabelas em anexo encontram-se todos os valores de irradiação solar nos momentos dos ensaios.

5.2 Avaliação da Energia Disponível e Gerada pelo Sistema de Irrigação Fotovoltaico

A tabela 7 apresenta os valores da energia consumida pelo sistema separados pelos horários da coleta de dados e a insolação a cada dia de coleta. Ressalta-se que os valores são para o tempo de duração de cada ensaio, ou seja, a energia gerada em 10 minutos.

Tabela 6: Energia Gerada Pelo Sistema (Wh)

	CÉU ABERTO	NUBLADO	POUCAS NUVENS	CÉU ABERTO	NUBLADO	POUCAS NUVENS
HORÁRIOS						
10:30	13,2	12,8	10,9	12,2	13,6	11,6
10:30	20,9	12,7	17,1	25,8	13,1	13,8
10:30	10,2	9,4	16,2	10,5	9,7	13,1

10:30	11,8	12,1	10,1	13,5	13,8	9,9
10:30	12,2	9,5	12	12,1	9,3	13,4
	13,66	11,3	13,26	14,82	11,9	12,36
12:30	15,7	15,1	12,7	17,5	16,1	12,7
12:30	20,9	13,7	14,2	24,9	13,3	12,6
12:30	12,1	9,6	12,1	12,1	8,3	12,4
12:30	11,7	12,3	8,5	11,4	8,3	8,5
12:30	8,4	9,3	8,5	8,9	8,3	8,6
	13,76	12	11,2	14,96	10,86	10,96
14:30	14,4	14,7	8	16,9	14,4	8,4
14:30	15,6	14,8	10,9	15,9	13,4	10,9
14:30	20,5	7,7	11	24,9	8,3	10,9
14:30	10,4	11,3	8,6	11,3	12,2	7,6
14:30	8,6	11	7,3	8,3	11,9	7
	13,9	11,9	9,16	15,46	12,04	8,96
MÉDIAS	13,8	11,7	11,2	15,1	11,6	10,8

De modo similar à tabela anterior, a tabela 8 apresenta os valores da energia solar do sistema, que são utilizados para cálculo da eficiência, conforme apresentado na metodologia.

Tabela 7: Energia Solar do Sistema (Wh)

INSOLAÇÃO	CÉU ABERTO	NUBLADO	POUCAS NUUVENS	CÉU ABERTO	NUBLADO	POUCAS NUUVENS
HORÁRIOS						
10:30	155,8	133,1	112,1	161,2	117,6	112,7
10:30	158,5	132,2	136,3	149,9	126,4	132,2
10:30	160,3	106,5	172,8	168,3	112,5	154,4
10:30	156,8	92,6	138,3	148,7	57,2	146,4
10:30	153,9	155,1	141,1	172,7	146,9	110,8
	157,06	123,9	140,12	160,16	112,12	131,3
12:30	224,6	219,7	158,6	214,8	221,9	152,9
12:30	221	180,6	177,7	245	186,2	155,3
12:30	210,8	184,9	164,9	218,1	154,3	154,8
12:30	238,9	41,9	148,6	237,1	71,1	151,2
12:30	225,7	220,6	194,4	222,1	223,5	196,4
	224,2	169,54	168,84	227,42	171,4	162,12
14:30	243,7	226,3	234,9	222,1	221	221,9
14:30	232,9	112,3	193,1	216,9	119	207
14:30	222,4	66,1	238,9	245	84,5	237,1
14:30	219,7	121,2	241,5	230,7	76,9	141,5
14:30	233,6	224,8	145,3	241,5	226,8	125,3

	230,46	150,14	210,74	231,24	145,64	186,56
MÉDIAS	203,9	147,9	173,2	206,3	143	160

5.3 Avaliação da Eficiência Energética do Sistema Fotovoltaico

A tabela 9 apresenta os valores estimados da eficiência energética do painel fotovoltaico utilizado, separados pelos horários da coleta de dados e a insolação a cada dia de coleta.

Tabela 8: Eficiência Energética do Sistema Fotovoltaico

	CÉU ABERTO	NUBLADO	POUCAS NUVENS	CÉU ABERTO	NUBLADO	POUCAS NUVENS
HORÁRIOS						
10:30	8,19%	9,60%	9,69%	7,80%	11,58%	10,28%
10:30	13,15%	9,64%	12,56%	17,23%	10,40%	10,44%
10:30	6,38%	8,85%	9,39%	6,25%	8,63%	8,46%
10:30	7,55%	13,11%	7,32%	9,10%	24,15%	6,78%
10:30	7,90%	6,13%	8,50%	6,99%	6,34%	12,08%
	8,63%	9,47%	9,49%	9,47%	12,22%	9,61%
12:30	6,99%	6,86%	8,03%	8,15%	7,26%	8,29%
12:30	9,46%	7,60%	7,97%	10,17%	7,14%	8,12%
12:30	5,73%	5,21%	7,35%	5,54%	5,35%	8,03%
12:30	4,89%	29,36%	5,73%	4,81%	11,71%	5,61%
12:30	3,74%	4,21%	4,36%	4,02%	3,73%	4,40%
	6,16%	10,65%	6,69%	6,54%	7,04%	6,89%
14:30	5,92%	6,49%	3,39%	7,61%	6,51%	3,77%
14:30	6,70%	13,14%	5,64%	7,31%	11,23%	5,28%
14:30	9,20%	11,65%	4,59%	10,17%	9,88%	4,60%
14:30	4,72%	9,29%	3,55%	4,89%	15,88%	5,40%

14:30	3,66%	4,89%	5,04%	3,45%	5,26%	5,61%
	6,04%	9,09%	4,44%	6,69%	9,75%	4,93%
MÉDIAS	6,95%	9,74%	6,87%	7,57%	9,67%	7,14%

Nogueira et al. (2015) obteve eficiência média de 6,57% em painéis policristalinos, em ensaios para bombeamento de água.

Assim, o desempenho do sistema foi considerado aceitável. Porém, não houve correlação significativa entre o desempenho dos painéis e o os horários dos ensaios.

5.4 Avaliação do Desempenho do Sistema de Irrigação

A tabela 10 apresenta os valores de CUC do sistema de irrigação, separados pelos horários da coleta de dados e a insolação a cada dia de coleta.

Tabela 9: Eficiência do Sistema de Irrigação – Valores do CUC

	CÉU ABERTO	NUBLADO	POUCAS NUVENS	CÉU ABERTO	NUBLADO	POUCAS NUVENS
HORÁRIOS						
10:30	92,86	95,06	86,33	94,95	95,24	88,51
10:30	94,33	95,53	93,76	86,98	93,87	92,99
10:30	87,33	87,31	84,25	92,78	90,17	88,09
10:30	93,25	90,79	84,28	95,71	92,99	95,13
10:30	96,56	93,46	93,98	95,53	86,55	87,87
	92,87	92,43	88,52	93,19	91,76	90,52
12:30	95,00	94,84	94,75	96,89	89,58	89,28
12:30	96,32	90,81	90,02	96,98	87,70	93,85
12:30	94,18	84,95	87,43	96,94	91,07	92,42
12:30	78,98	82,55	85,38	89,64	95,04	79,96
12:30	94,18	85,78	91,86	94,14	81,22	89,17
	91,73	87,79	89,89	94,92	88,92	88,94
14:30	92,80	88,41	79,06	92,39	91,23	85,50
14:30	88,30	90,99	92,91	93,16	88,85	91,76
14:30	96,97	84,14	94,66	96,07	89,85	91,95
14:30	88,75	90,93	70,83	87,46	89,03	71,59
14:30	90,65	90,85	85,62	94,79	89,03	68,39

	91,49	89,06	84,62	92,77	89,60	81,84
MÉDIAS	92,03	89,76	87,67	93,63	90,10	87,10

Pode-se observar que todos os valores, em comparação com a tabela 1 apresentada na metodologia, encontram-se dentro da classificação “aceitável”, ou seja, acima de 60. Vale ressaltar que a maioria dos valores encontra-se na faixa “excelente”, ou ao menos “regular”, caracterizando um sistema eficiente e de alto desempenho.

Observando os resultados obtidos, nota-se que há grande dispersão dos dados, sendo o menor valor 70,83 e o maior 96,97. FRIGO et al (2016) observaram uma variação semelhante, onde o mínimo foi de 74,60 e o máximo 93,73 em um trabalho com aspersores utilizando energia eólica. Essa variação se justifica pela variação na uniformidade do vento, e por consequência da geração energética.

Por sua vez, a tabela 11 apresenta os valores de CUD obtidos nos ensaios.

Tabela 10: Eficiência do Sistema de Irrigação – Valores do CUD

INSOLAÇÃO	CÉU ABERTO	NUBLADO	POUCAS NUVENS	CÉU ABERTO	NUBLADO	POUCAS NUVENS
HORÁRIOS						
10:30	89,38	93,21	86,41	91,31	91,32	81,08
10:30	91,57	89,39	88,02	75,64	90,5	87,33
10:30	86,76	80,96	70,37	90,72	81,72	85,63
10:30	86,87	85,265	75,71	91,94	87,33	91,38
10:30	96,07	88,22	90,37	94,04	80,76	81,43
	90,13	87,409	82,176	88,73	86,326	85,37
12:30	92,39	92,12	93,11	96,51	80,73	88,69
12:30	94,99	82,12	82,26	95,42	83,28	88,06
12:30	93,02	80,245	83,87	96,21	87,87	86,67
12:30	79,68	78,22	83,05	86,63	94,47	83,54
12:30	91,97	83,72	88,205	91,78	82,7	81,61
	90,41	83,285	86,099	93,31	85,81	85,714
14:30	85,55	82,85	83,63	88,04	85,06	75,62
14:30	82,35	87,77	86,59	90,37	83,69	86,63
14:30	95,3	77,85	91,86	94,94	84,64	84,97
14:30	82,76	83,52	73,81	80	80,52	65,45
14:30	85,85	85,8	82,4	92,7	80,52	73,54

	86,362	83,558	83,658	89,21	82,886	77,242
MÉDIAS	88,96733	84,75067	83,97767	90,41667	85,00733	82,77533

De maneira análoga aos ensaios de CUC, todos os valores são aceitáveis de acordo com a tabela 2 da metodologia. Ainda, a maioria dos valores encontra-se na faixa “excelente”, ou ao menos “regular”, caracterizando também um sistema eficiente e de alto desempenho.

Neto (2016) obteve valores considerados excelentes em relação à uniformidade de distribuição, com CUC e CUD apresentando os valores 96,29% e 94,32%, em experimento utilizando fonte energética convencional. De maneira similar, Santos et. al. (2012) também obteve resultados aceitáveis utilizando microaspersores na cultura da banana, com resultados do CUC variando de 77% até 93% e de CUD variando de 56% até 88%, variando de bom a excelente.

Andrade (2013) realizou um trabalho similar com microaspersores, utilizando energia fotovoltaica. Obteve valores do CUC entre 19,23% e 32,85% e o CUD entre 0% e 9,54%, ou seja, um desempenho inferior ao trabalho com gotejamento.

Assim, todos os resultados foram considerados aceitáveis, ou seja, o desempenho do sistema de irrigação se enquadrou nos parâmetros. Observa-se que o desempenho do sistema foi mais alto quando utilizado com o céu aberto, em relação a céu com poucas nuvens. Então, tanto para o CUC quanto para o CUD, o céu nublado trouxe o pior desempenho. Ainda assim, as médias encontram-se nas faixas excelente e regular quando avaliados.

5.5 Análise Comparativa Entre a Eficiência do Sistema Fotovoltaico e o Desempenho do Sistema de Irrigação por Gotejamento

A seguir, será apresentada a relação entre a eficiência do sistema fotovoltaico e o desempenho do sistema de irrigação por gotejamento, em função do CUC e do CUD.

Utilizou-se o Software Minitab 17 para analisar estatisticamente os dados obtidos no experimento. A seguir, as Figuras 17 e 18 apresentam, respectivamente, a relação obtida entre a eficiência do painel e o CUC e CUD analisando todos os ensaios simultaneamente.

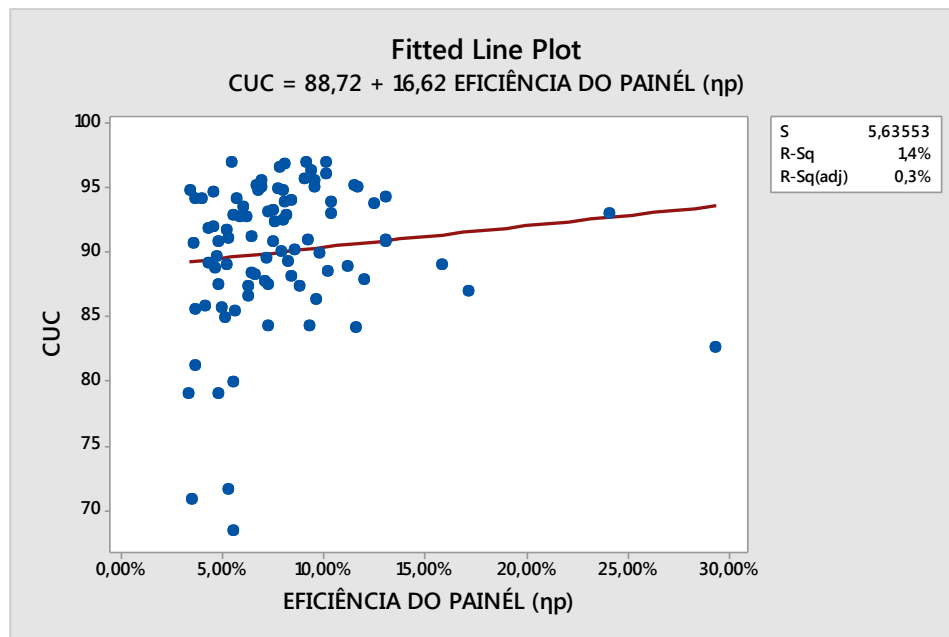


Figura 16: CUC X Eficiência, Ensaios

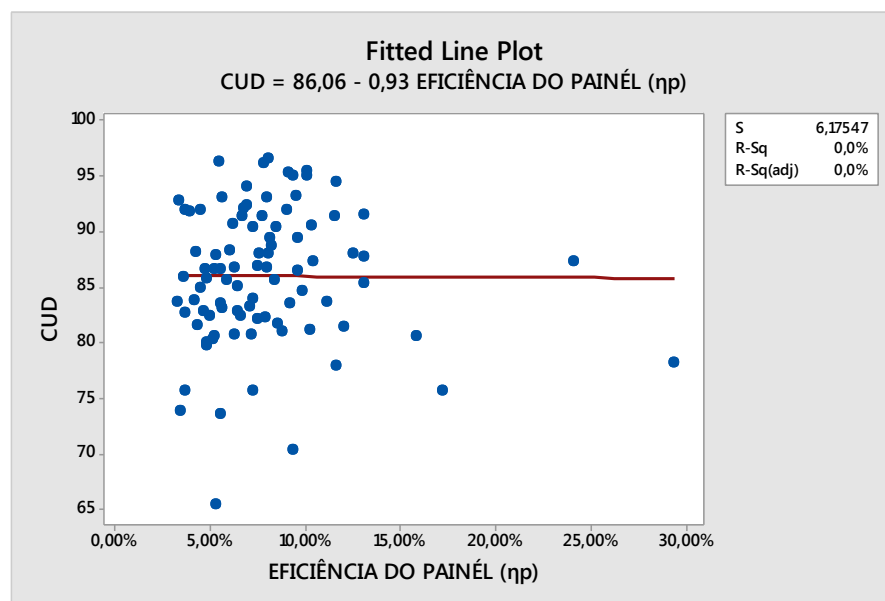


Figura 17: CUC X Eficiência, Ensaios

Essa avaliação foi realizada separando também os ensaios por categorias de céu aberto, poucas nuvens e céu nublado, porém com resultado similar aos apresentados nas Figuras 17 e 18. Ou seja, não houve relação significativa entre a eficiência do painel fotovoltaico com os resultados de desempenho do sistema de irrigação.

Por sua vez, as Figuras 19 e 20 apresentam, respectivamente, a relação estatística entre o CUC e o CUD com a irradiação coletada em cada ensaio.

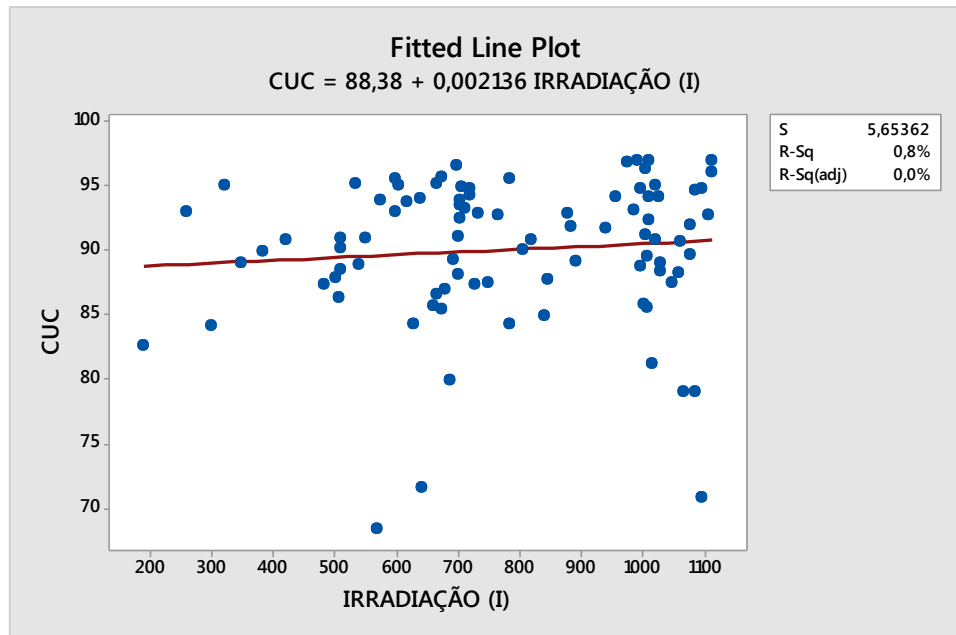


Figura 18: CUC X Irradiação, Ensaios

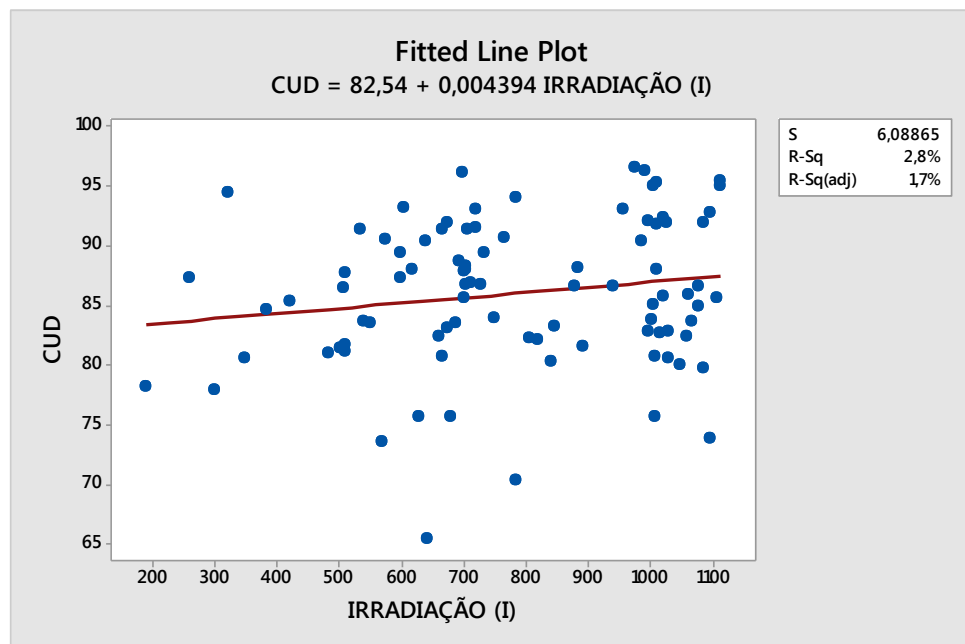


Figura 19: CUC X Irradiação, Ensaios

Observa-se que, comparando o desempenho do sistema de irrigação com os valores de irradiação há uma correlação muito baixa. Ou seja, as variações de irradiação que ocorrem durante os ensaios não afetam significativamente o sistema de irrigação. Em todos os casos, o desempenho do sistema permaneceu dentro do limite aceitável.

Ao analisar o comportamento do CUC e CUD comparando tempo nublado, com poucas nuvens e ensolarado, observa-se que o comportamento do gráfico

aponta uma relação entre os valores de CUC e CUD e a insolação, conforme as figuras 21 e 22:

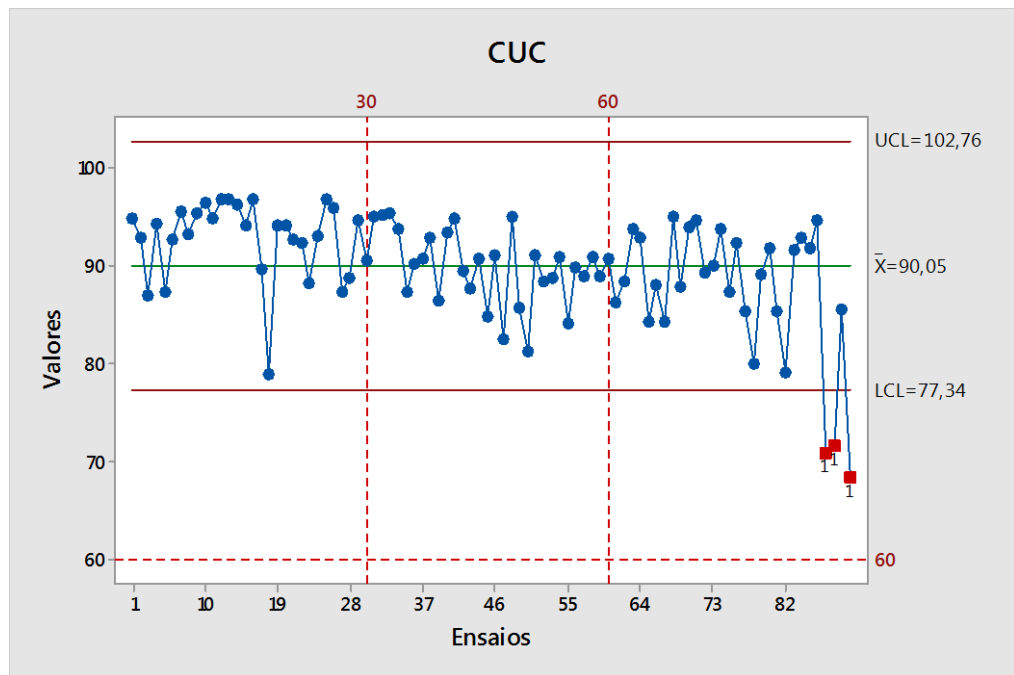


Figura 21: Variação do CUC

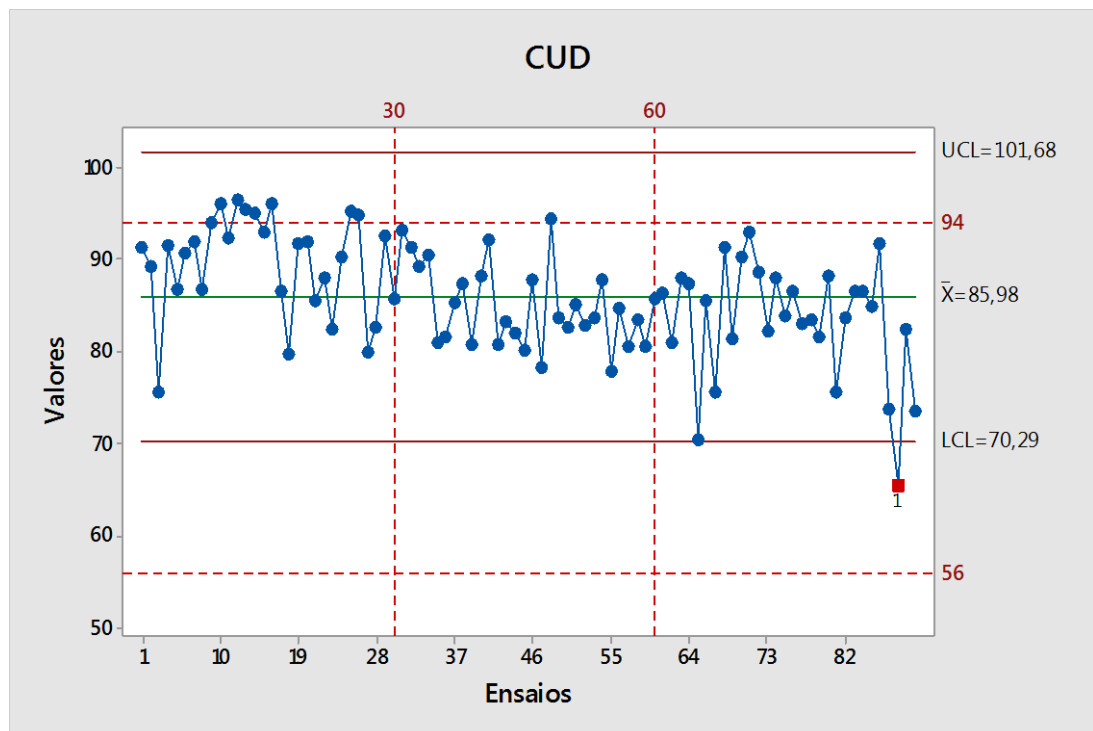


Figura 22: Variação do CUD

Nas figuras 21 e 22 estão dispostos os ensaios com tempo ensolarado (do 1 ao 30), com poucas nuvens (31 ao 60) e com tempo nublado (61 ao 90). Pode-se observar o decréscimo dos valores de CUC e de CUD em relação a insolação nos momentos dos ensaios.

6. CONCLUSÕES

Nas condições em que foi realizado o experimento e com os resultados obtidos, estabeleceram-se as seguintes conclusões:

A energia gerada pelo sistema fotovoltaico para o sistema de bombeamento do sistema de irrigação por gotejamento, apresentou valores variáveis para os dias com céu aberto, nublado e com poucas nuvens. Os dias de céu aberto apresentaram os maiores valores, com média de 15,1 Wh. Entre os dias nublados e de céu aberto os valores da energia gerada apresentaram-se bastante próximos, com médias em torno de 11 Wh.

Com relação ao rendimento do sistema de bombeamento fotovoltaico, conclui-se que os dias com maiores valores de eficiência dos sistemas foram encontrados nos dias nublados, com valores de até 9,74 %.

Todos os valores encontrados para o CUC e para o CUD, permaneceram na faixa aceitável, sendo que a maioria dos valores ficaram na faixa excelente. Contudo, observou-se um decaimento tanto dos valores de CUC quanto de CUD conforme a insolação, ou seja, os valores apresentaram-se mais altos para ensaios de céu aberto do que para ensaios com poucas nuvens e, por fim, em tempo nublado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. F. **Desenvolvimento de um sistema de posicionamento automático para painéis fotovoltaicos**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2008.

ANDRADE & BRITO, **Métodos de Irrigação e Quimigação**. Disponível em http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/circular/Circ_86.pdf, 2006

ANDRADE, Mauricio Guy. **Efeito De Um Sistema De Bombeamento De Água Fotovoltaico Na Operação De Um Microaspersor**, 2013

COELHO, R. F. **Estudo dos conversores buck e boost aplicados ao rastreamento de máxima potência de sistemas solares fotovoltaicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CUNHA, F. F. et al. **Uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação por gotejamento utilizando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro**. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 28, n. 1, p. 1-5, 2006.

DALRI, Alexandre Barcellos et al. **Caracterização técnica e desempenho hidráulico de quatro gotejadores autocompensantes utilizados no Brasil**. *Ciencia rural*, v. 45, n. 8, p. 1439-1444, 2015.

FREITAS, Giovana Souza; DATHEIN, Ricardo. **As energias renováveis no Brasil: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental**. *Revista Nexos Econômicos*, v. 7, n. 1, p. 71-94, 2015.

FRIGO, JIAM PIRES et al. **Comparação Entre Gráficos De Controle De Shewhart, Cusum E Mmep No Processo De Irrigação Por Aspersão Convencional**. *IRRIGA*, v. 1, n. 01, p. 56-70, 2016.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, Raquel Scalia Alves; CHRISTOFIDIS, Demetrios. O uso da irrigação no Brasil. **O estado das águas no Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica. CD-ROM**, 1999.

MELÉNDEZ, Teddy Arturo Flores. **Avaliação de sistemas fotovoltaicos de bombeamento**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Matriz Energética Nacional 2030**. Brasília, DF: MME: EPE, 2007.

MORALES, L. R. V. **A utilização de sistemas fotovoltaicos de bombeamento para irrigação em pequenas propriedades rurais**. Dissertação (Pós-Graduação Stricto Sensu). Energia. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 2011.

NASCIMENTO, Rogério Luiz; HAUSMANN, Romeu. Sistema de bombeamento de água pluvial com estudo da viabilidade da utilização de energia solar fotovoltaica. **Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial-ISSN-1983-1838**, v. 8, n. 2, p. 85-110, 2015.

NETO, Renato Américo Araújo et al. **Desempenho De Um Sistema De Irrigação Por Gotejamento Em Cana-De-Açúcar**. Revista Ciência Agrícola, v. 13, n. 1, p. 13-20, 2016.

NIEDZIALKOSKI, Rosana Krauss. **Desempenho De Painéis Solares Mono E Policristalinos Em Um Sistema De Bombeamento De Água**, 2013

NOGUEIRA, C. E. C., BEDIN, J., NIEDZIALKOSKI, R. K., de Souza, S. N. M., & das NEVES, J. C. M. (2015). **Performance of monocrystalline and polycrystalline solar panels in a waterpumping system in Brazil**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 51, 1610- 1616.

PARIZOTTO, Roberson Roberto. **Instalação e avaliação de um sistema de bombeamento d'água com aerogerador de pequeno porte para propriedades rurais em Cascavel – PR**, 2014

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. (org.). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CRESESB/CEPEL. 2014. 530p.

SANTOS, D., **Análise do comportamento energético das fontes solar e eólica disponível em cascavel, paraná, 2014**

CUNHA, F. F. et al. **Uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação por gotejamento utilizando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro**. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 28, n. 1, p. 1-5, 2006.

SILVA, Samuel et al. **Qualidade da irrigação por gotejamento em cultivos consecutivos de cana-de-açúcar**. AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMIÁRIDO, v. 11, n. 2, p. 01-08, 2015.

SIQUEIRA, Jair Antonio Cruz. **Desempenho de um sistema híbrido eólico-fotovoltaico de pequeno porte para energização rural**. 2005.

VILAS BOAS, Renato Carvalho et al. **Viabilidade econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura da cebola**. 2011.

WERNECK, J.E.F., FERREIRA, R.S.A. & CHRISTOFIDIS, D. **O uso da água para irrigação**. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.cf.org.br/cf2004/irrigacao.doc>>. Acesso em: 2 de julho de 2012. </

DATA	ENSOL	HOR A	CUC	CUD	TENS . (V)	COR. (I)	PRES.	IRRAD. (I)	POT. (P)	ÁREA DA PLACA SOLAR (A)	IRRAD. TOTAL (Rt)	TEMP O (t)	ENERGI A DISP. (Ed)	ENERGI A CONS. (Ec)	EFICIÊNCIA DO PAINÉL (ηp)
					V	A		W/m ²	W	(m ²)	W	h	Wh	Wh	%
									$P = V * I$	1,280x1,032	$Rt = I x A$		$Ed = Rt x t$	$Ee = P x t$	$\eta p = (EC/Ed)*100$
28/set	céu aberto	12:30	95	92,39	22,55	4,175	0,1	1020	94,1463	1,3210	1347,3792	0,1667	224,5632	15,6910	6,99%
28/set	céu aberto	12:30	96,89	96,51	24	4,375	0,2	975,7	105,0000	1,3210	1288,8607	0,1667	214,8101	17,5000	8,15%
29/set	céu aberto	12:30	96,98	95,42	25,3	5,91	0,4	1113	149,5230	1,3210	1470,2285	0,1667	245,0381	24,9205	10,17%
29/set	céu aberto	12:30	96,32	94,99	22,05	5,69	0,3	1004	125,4645	1,3210	1326,2438	0,1667	221,0406	20,9108	9,46%
10/out	céu aberto	12:30	94,18	93,02	19,45	3,725	0,2	957,3	72,4513	1,3210	1264,5550	0,1667	210,7592	12,0752	5,73%
10/out	céu aberto	12:30	96,94	96,21	19,55	3,705	0,1	990,6	72,4328	1,3210	1308,5430	0,1667	218,0905	12,0721	5,54%
03/nov	céu aberto	12:30	89,64	86,63	24,95	2,74	0,1	1077	68,3630	1,3210	1422,6739	0,1667	237,1123	11,3938	4,81%
03/nov	céu aberto	12:30	78,98	79,68	24,7	2,84	0,1	1085	70,1480	1,3210	1433,2416	0,1667	238,8736	11,6913	4,89%
07/nov	céu aberto	12:30	94,14	91,78	20,45	2,62	0,2	1009	53,5790	1,3210	1332,8486	0,1667	222,1414	8,9298	4,02%
07/nov	céu aberto	12:30	94,18	91,97	20,35	2,49	0,3	1025	50,6715	1,3210	1353,9840	0,1667	225,6640	8,4453	3,74%
MÉDIA			6,35%												

DATA	ENSOL.	HOR A	CUC	CUD	TENS . (V)	COR. (I)	PRES.	IRRAD. (I)	POT. (P)	ÁREA DA PLACA SOLAR (A)	IRRAD. TOTAL (Rt)	TEMP O (t)	ENERGI A DISP. (Ed)	ENERGI A CONS. (Ec)	EFICIÊNCI A DO PAINÉL (η_p)
					V	A		W/m ²	W	(m ²)	W	h	Wh	Wh	%
									$P = V * I$	1,280x1,032	$Rt = I \times A$		$Ed = Rt \times t$	$Ee = P \times t$	$\eta_p = (EC/Ed)*100$
04/out	nublado	14:30	91,234	85,06	22,4	3,855	0,1	1004	86,3520	1,3210	1326,2438	0,1667	221,0406	14,3920	6,51%
04/out	nublado	14:30	88,413	82,85	24,25	3,635	0,2	1028	88,1488	1,3210	1357,9469	0,1667	226,3245	14,6915	6,49%
06/out	nublado	14:30	88,85	83,69	21,1	3,8	0,2	540,3	80,1800	1,3210	713,7147	0,1667	118,9524	13,3633	11,23%
06/out	nublado	14:30	90,987	87,77	22,5	3,935	0,2	510	88,5375	1,3210	673,6896	0,1667	112,2816	14,7563	13,14%
08/nov	nublado	14:30	84,14	77,85	20,83	2,217	0,1	300,2	46,1801	1,3210	396,5522	0,1667	66,0920	7,6967	11,65%
08/nov	nublado	14:30	89,85	84,64	20,2	2,48	0,1	384	50,0960	1,3210	507,2486	0,1667	84,5414	8,3493	9,88%
19/out	nublado	14:30	89,034	80,52	20,85	3,515	0,1	349,4	73,2878	1,3210	461,5434	0,1667	76,9239	12,2146	15,88%
19/out	nublado	14:30	90,934	83,52	20,45	3,305	0,3	550,6	67,5873	1,3210	727,3206	0,1667	121,2201	11,2645	9,29%
23/out	nublado	14:30	89,034	80,52	20,75	3,45	0,1	1030	71,5875	1,3210	1360,5888	0,1667	226,7648	11,9313	5,26%
23/out	nublado	14:30	90,85	85,8	20,3	3,25	0,2	1021	65,9750	1,3210	1348,7002	0,1667	224,7834	10,9958	4,89%
MÉDIA		9,42%													

DATA	ENSOL.	HORA	CUC	CUD	TENS. (V)	COR. (I)	PRES.	IRRAD. (I)	POT. (P)	ÁREA DA PLACA SOLAR (A)	IRRAD. TOTAL (Rt)	TEMPO (t)	ENERGIA DISP. (Ed)	ENERGIA CONS. (Ec)	EFICIÊNCIA DO PAINÉL (η_p)	
					V	A		W/m ²	W	(m ²)	W	h	Wh	Wh	%	
									$P = V * I$	1,280x1,032	$Rt = I \times A$		$Ed = Rt \times t$	$Ee = P \times t$	$\eta_p = (EC/Ed)*100$	
26/set	Poucas nuvens	12:30	94,75	93,11	19,55	3,91	0,3	720,5	76,4405	1,3210	951,7517	0,1667	158,6253	12,7401	8,03%	
26/set	Poucas nuvens	12:30	89,28	88,69	19,7	3,86	0,1	694,5	76,0420	1,3210	917,4067	0,1667	152,9011	12,6737	8,29%	
27/set	Poucas nuvens	12:30	90,02	82,26	20,9	4,065	0,2	807,1	84,9585	1,3210	1066,1468	0,1667	177,6911	14,1598	7,97%	
27/set	Poucas nuvens	12:30	93,85	88,06	19,75	3,83	0,2	705,2	75,6425	1,3210	931,5410	0,1667	155,2568	12,6071	8,12%	
07/out	Poucas nuvens	12:30	87,43	83,87	19,5	3,73	0,3	748,8	72,7350	1,3210	989,1348	0,1667	164,8558	12,1225	7,35%	
07/out	Poucas nuvens	12:30	92,42	86,67	20,3	3,675	0,1	703,2	74,6025	1,3210	928,8991	0,1667	154,8165	12,4338	8,03%	
19/out	Poucas nuvens	12:30	85,38	83,05	19,9	2,565	0,2	674,9	51,0435	1,3210	891,5159	0,1667	148,5860	8,5073	5,73%	
19/out	Poucas nuvens	12:30	79,96	83,54	19,95	2,55	0,2	686,9	50,8725	1,3210	907,3674	0,1667	151,2279	8,4788	5,61%	
24/out	Poucas nuvens	12:30	89,17	81,61	20,1	2,58	0,1	892	51,8580	1,3210	1178,2963	0,1667	196,3827	8,6430	4,40%	
24/out	Poucas nuvens	12:30	91,86	88,205	20,25	2,51	0,2	883	50,8275	1,3210	1166,4077	0,1667	194,4013	8,4713	4,36%	
MÉDIA		6,79%														

