

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CAMPUS DE CASCAVEL
RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA - PGEAGRI
DOUTORADO

**FERTIRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO COM SISTEMA DE BOMBEAMENTO
FOTOVOLTAICA**

BRUNA CAROLINE BAZEI

CASCAVEL
2023

BRUNA CAROLINE BAZEI

FERTIRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO COM SISTEMA DE BOMBEAMENTO
FOTOVOLTAICA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - Doutorado, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Campus de Cascavel, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor.

Orientador: Marcio Antonio Vilas Boas

CASCADEL

2023

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da

Bazei, Bruna Caroline

Fertirrigação por gotejamento com sistema de bombeamento fotovoltaica / Bruna Caroline Bazei; orientador Marcio Antonio Vilas Boas . -- Cascavel, 2023.

103 p.

Tese (Doutorado Campus de Cascavel) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2023.

1. Energia solar renovável. 2. Agricultura fertirrigada. 3. Controle de qualidade estatístico. 4. Performance do processo. I. , Marcio Antonio Vilas Boas, orient. II. Título.

BRUNA CAROLINE BAZEI

FERTIRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO COM SISTEMA DE BOMBEAMENTO FOTVOLTAICO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, linha de pesquisa Saneamento Ambiental, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a) - Marcio Antonio Vilas Boas

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

 Documento assinado digitalmente
ALLAN REMOR LOPES
Data: 14/06/2023 11:48:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Allan Remor Lopes

Universidade Federal do Paraná (UFPR)

 Documento assinado digitalmente
JIAM PIRES FRIGO
Data: 13/06/2023 18:21:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jiam Pires Frigo

Universidade Federal da Integração Latino-Americana (Unila)

 Documento assinado digitalmente
ERIVELTO MERCANTE
Data: 16/06/2023 09:05:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Erivelto Mercante

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

 Documento assinado digitalmente
JAIR ANTONIO CRUZ SIQUEIRA
Data: 15/06/2023 16:21:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jair Antonio Cruz Siqueira

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

Cascavel, 13 de junho de 2023.

BIOGRAFIA

Formou-se em Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) em 2016. Em 2017, ingressou no Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais na UTFPR no *Campus* de Medianeira

Em 2019, foi selecionada como discente em Engenharia Agrícola (PGEAGRI), nível Doutorado, na área de concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, sob orientação do professor Dr. Márcio Antônio Vilas Boas, na área de irrigação fotovoltaica.

*“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos
não é senão uma gota de água no mar. Mas o
mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.*
Madre Teresa de Calcutá

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus e a minha família, que muito me apoiou e me incentivou a realizá-lo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da caminhada para a realização deste trabalho;

Aos amigos/familiares, por todo o apoio e pela ajuda, que muito contribuíram para a realização deste trabalho;

Aos professores, pelas correções e ensinamentos que me auxiliaram a ter melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso;

Às pessoas com quem convivi ao longo desses anos de curso, que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica;

À instituição de ensino Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste *campus* de Cascavel e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola (PGEAGRI), nível Doutorado, sob orientação do professor Dr. Márcio Antônio Vilas Boas, essencial no meu processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso.

RESUMO

Bazei, Bruna Caroline. **Fertirrigação por gotejamento com sistema de bombeamento fotovoltaica**. Orientador Marcio Antonio Vilas Boas. 2023. 103f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – Paraná, 2023.

A fertirrigação representa uma abordagem avançada e eficaz para a agricultura moderna, pois traz como integrantes energia, irrigação e aplicação em culturas que precisam de nutrientes. Essa técnica contribui para o aumento da produtividade agrícola, a economia de recursos hídricos e energéticos, bem como para a redução dos impactos ambientais, além de desempenhar papel fundamental na produção sustentável de alimentos. A energia é crucial para a fertirrigação, e necessária para alimentar os sistemas de bombeamento, filtragem e distribuição de água e nutrientes. Nesse contexto, a energia solar fotovoltaica tem se destacado como uma fonte limpa e sustentável para alimentar esses sistemas, pois reduz os custos operacionais e os impactos ambientais associados à produção agrícola. Assim, este estudo teve como objetivo calcular os coeficientes de uniformidade de distribuição de água e concentrações de ureia em diferentes níveis, além de avaliar se a variabilidade no fornecimento de energia interferiu nos coeficientes de uniformidade. No sistema de irrigação, a coleta dos dados foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Keller e Karmeli (1975) pela determinação da vazão em quatro emissores por linha lateral. Foram apontadas tanto a concentração limite de ureia para garantir altos índices de uniformidade como a eficiência de aplicação, e analisados os gráficos de controle para a uniformidade da vazão, pH e condutividade elétrica em um sistema de fertirrigação por gotejamento com ureia. Os resultados mostraram que a energia fotovoltaica apresentou aumento em sua potência no período de verão, mas os valores de potência fornecida pelo sistema mantiveram-se instáveis, interferindo no processo de irrigação. O sistema de controlador de carga não executou a estabilização desejada no sistema. A uniformidade apresentou classificação de excelência nos tratamentos 1 e 3 para CUC e 3 e 7 para CUD, e os menores valores de uniformidade encontram-se nos tratamentos 4 e 8, onde foi aplicada a maior concentração de fertilizante. O coeficiente de uniformidade de distribuição foi capaz de manter seu valor superior a 90% ao longo do tempo nos tratamentos 3 e 7, os quais apresentam concentração de fertilizante de 5 g L^{-1} , os quais foram classificados como excelentes. O estudo conclui que a utilização do controlador de carga e banco de baterias no sistema fotovoltaico na irrigação por gotejamento autônoma não é recomendada, uma vez que o efeito da inclusão do sistema não obteve a estabilização de corrente nem a tensão desejada. Além disso, recomenda-se a concentração limite de 5 g L^{-1} na fertirrigação, pois houve alteração na uniformidade quando ultrapassado esse valor. Por fim, é importante ressaltar a necessidade de mais estudos para reduzir o uso de água e nutrientes e aumentar a uniformidade de distribuição na irrigação localizada, mas as técnicas de controle estatístico de qualidade do processo, utilizadas neste estudo, podem ser úteis para identificar e diagnosticar a variabilidade do processo. Logo, o estudo mostrou que a energia solar fotovoltaica pode ser utilizada na irrigação, mas o controlador de carga e o banco de baterias não devem ser utilizados no sistema de fertirrigação fotovoltaico.

Palavras-chave: Energia Solar Renovável; Agricultura Fertirrigada; Controle de Qualidade Estatístico; *Performance* do Processo.

ABSTRACT

Bazei, Bruna Caroline. **Drip irrigation with photovoltaic pumping system**. Orientador Marcio Antonio Vilas Boas. 2023. 103f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – Paraná, 2023.

Fertigation represents an advanced and effective approach to modern agriculture, since it has integrant such as energy, irrigation, and precise nutrient application. This technique has contributed to increase agricultural productivity, water conservation, energy resources, as well as some decrease regarding environmental impacts. So, it has played a substantial role in sustainable food production. Energy is crucial for fertigation as it is required to improve systems of pumping, filtering, water and nutrient distribution. Thus, photovoltaic solar energy has emerged as a clean and sustainable source to improve these systems, since it decreases operational costs and environmental impacts associated to agricultural production. Therefore, this study aimed at calculating the coefficients of water distribution uniformity and urea concentrations at different levels and to evaluate whether energy supply variability has intervened in uniformity coefficients. In the irrigation system, data collection was carried out using the methodology proposed by Keller and Karmeli (1975) by the flow rate determining at four emitters per lateral line. The study identified both urea concentration limit to ensure high uniformity and application efficiency, and control charts were analyzed for flow rate uniformity, pH, and electrical conductivity in a drip fertigation system with urea. Results showed that photovoltaic energy increased its output during summertime, but the system's power values remained unstable, which interfered on the irrigation process. The charge controller system did not achieve the desired stabilization in the overall system. Uniformity was rated as excellent in treatments 1 and 3 for CUC and 3 and 7 for CUD, while the lowest uniformity values were recorded for treatments 4 and 8, where the highest fertilizer concentration was applied. The distribution uniformity coefficient kept values above 90% over time in treatments 3 and 7, which had fertilizer concentration of 5 g L⁻¹, and were classified as excellent. The study concluded that the use of charge controllers and battery banks in photovoltaic drip irrigation systems is not recommended, as the system's inclusion did not achieve the desired current and voltage stabilization. Furthermore, a limit concentration of 5 g L⁻¹ is recommended for fertigation because there was some change in uniformity when this value was exceeded. Finally, it is important to emphasize the need for further studies to reduce water application and nutrients and increase distribution uniformity in precision irrigation. However, the techniques of statistical control regarding the process quality, applied in this study, can be available to identify and diagnose process variability. Lastly, this study has shown that photovoltaic solar energy can be applied in irrigation, but charge controllers and battery banks should not be applied in photovoltaic fertigation systems.

Keywords: Renewable Solar Energy; Fertigated Agriculture; Statistical Quality Control; Process Performance.

SUMÁRIO

BIOGRAFIA	v
DEDICATÓRIA	vii
AGRADECIMENTOS	viii
ABSTRACT.....	x
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xiv
LISTA DE UNIDADES DE MEDIDA	xvi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo geral	3
2.2 Objetivos específicos	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Consumo energético e fontes renováveis	4
3.3 Sistemas de irrigação utilizando a fertirrigação	16
3.4 Gráfico de controle de Shewhart.....	25
3.4.1 Índice de capacidade do processo	27
3.5 Fertilizantes para fertirrigação – Nitrogenados.....	28
3.5.1. Amídica: ureia – $\text{co}(\text{nh}_2)_2$	31
4 MATERIAL E MÉTODOS	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
5.1 Estatística descritiva dos dados.....	40
5.2 Estatística dos parâmetros de vazão e pressão	41
5.3 Estatística dos parâmetros de uniformidade.....	42
5.4 Análise da Regressão linear das variáveis de interesse no sistema de fertirrigação por gotejamento.....	44
5.5 Análise dos parâmetros de fertirrigação	45
5.5 Gráficos de controle de Shewhart	46
5.6 Cálculo do índice de capacidade do processo	56
6. CONCLUSÃO.....	58
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
REFERÊNCIAS.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Condições determinantes para a escolha de um método de irrigação.....	13
Tabela 2 Comparativo das vantagens e desvantagens entre alguns tipos de sistemas de bombeamento de água.....	20
Tabela 3 Valores para a classificação do índice de capacidade do processo.....	28
Tabela 4 Características dos fertilizantes nitrogenados utilizados na fertirrigação.....	30
Tabela 5 Classificação dos coeficientes de uniformidade (CUC e CUD).....	38
Tabela 6 Estatística dos dados de ambos os tratamentos em relação à energia gerada.....	40
Tabela 7 Estatística descritiva dos dados de vazão e pressão dos tratamentos.....	42
Tabela 8 Estatística dos dados dos oito tratamentos em relação aos coeficientes de uniformidade.....	43
Tabela 9 Regressão entre irradiação, potência, pressões, vazão e CUD do sistema de irrigação por gotejamento fotovoltaico.....	44
Tabela 10 Estatística dos dados dos oito tratamentos em relação ao pH e à condutividade.....	45
Tabela 11 Índice de Capacidade do Processo (Cpi) para CUD, pressão e vazão.....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Matriz Energética Brasileira 2020.....	5
Figura 2 Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil de 2012 à 2020.	8
Figura 3 Como funciona a célula fotovoltaica.	9
Figura 4 Posição do painel PV em relação aos raios solares.	11
Figura 5 Representações dos principais sistemas de irrigação.	12
Figura 6 Sistema de Fertirrigação - fertilizantes via água de irrigação.	15
Figura 7 Fertilizante mineral simples – UREIA.	32
Figura 8 Irradiação solar diária média para a região de Cascavel – PR, no plano horizontal e inclinado.	33
Figura 9 Instalação do módulo fotovoltaico e monitoramento do valor de irradiância paralelamente ao módulo.....	33
Figura 10 Instalação do controlador de carga e do kit de baterias.	34
Figura 11 Layout do sistema de irrigação por gotejamento com utilização de energia solar fotovoltaica.	34
Figura 12 Funcionamento da bomba dentro do reservatório e bancada de ensaio com as 4 linhas de gotejadores em nível.....	35
Figura 13 Medidor de energia solar portátil da marca Instrutherm, modelo MÊS-100	35
Figura 14 Condutivímetro e pHmetro – kasvi.....	37
Figura 15 Gráfico de Controle de Shewhart para CUC, CUD, Pressão, Vazão e Potência para o Trat. 1.	47
Figura 16 Gráfico de Controle de Shewhart para CUC, CUD, Pressão, Vazão e Potência para o Trat. 2.	49
Figura 17 Gráfico de Controle de Shewhart para CUC, CUD, Pressão, Vazão e Potência para o Trat. 3.	50
Figura 18 Gráfico de Controle de Shewhart para CUC, CUD, Pressão, Vazão e Potência para o Trat. 4.	51
Figura 19 Gráfico de Controle de Shewhart para CUC, CUD, Pressão, Vazão e Potência para o Trat. 5.	52
Figura 20 Gráfico de Controle de Shewhart para CUC, CUD, Pressão, Vazão e Potência para o Trat. 6.	53
Figura 21 Gráfico de Controle de Shewhart para CUC, CUD, Pressão, Vazão e Potência para o Trat. 7.	54
Figura 22 Gráfico de Controle de Shewhart para CUC, CUD, Pressão, Vazão e Potência para o Trat. 8.	55

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AIE	Agência Internacional de Energia
a-Si	Silício amorfo
a-Si / μ c- Si	Silício microamorfo
CdTe	Telurídeo de cádmio
CIGS	Dieseline de galão de índio
CIS	Seleneto de cobre e índio
Cp	Capacidade do processo
Cr	Coeficiente do material
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Sálvio Brito
c-Si	Silício cristalino
CUC	Coeficiente de uniformidade de Christiansen
CUD	Coeficiente de uniformidade de distribuição
D	Diâmetro
EPIA	European photovoltaic industry association
I	Corrente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	International Energy Agency
I_{mp}	Corrente de potência máxima
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Changes
I_{sc}	Corrente de curto circuito
L	Comprimento
L_{eq}	Comprimento equivalente
LIE	Limite inferior de especificação

LM	Linha média
LSE	Limite superior de especificação
mc-Si	Multicristalina
OMS	Organização Mundial da Saúde
P	Potência
P_d	Potência disponível
P_{max}	Potência máxima
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
Q	Vazão
R_s	Radiação solar global
sc-Si	Cristalino simples
Si	Silício
T	Tempo
U	Tensão
U_{CC}	Tensão de corrente contínua
U_{MP}	Tensão em potência máxima
U_{OC}	Tensão em circuito aberto
U_{Real}	Tensão real

LISTA DE UNIDADES DE MEDIDA

°C	Graus Celsius
A	Ampère
Cm	Centímetros
cm ²	Centímetros quadrados
eV	Eletro voltagem
G	Gramas
GW	Gigawatts
GWp	Gigawatt pico
Kg	Kilo grama
L min ⁻¹	Litros por minuto
m	Metros
m s ⁻¹	Metros por segundo
mA	Miliampère
Mca	Metros de coluna de água
MHz	Megahertz
Mim	Minutos
MI	Mililitros
Mm	Milímetros
Mpa	Megapascal
S	Segundos
TWh	Terawatt hora
V	Volts
W	Watts
W h	Watts hora
Wp	Watts pico

1 INTRODUÇÃO

A energia é um setor crítico para o funcionamento de qualquer país, pois sua demanda cresce ano após ano, conforme a população e suas necessidades se reinventam. A eletricidade é um recurso necessário na vida moderna, e a sociedade evoluiu a ponto de estar vinculada à sua disponibilidade. O consumo exponencial e emergente de energia está aumentando não apenas como resultado da densidade populacional, mas também como resultado do aumento das demandas de energia de indivíduos, mídia e organizações (COSTA, 2020). Segundo relatórios da ANEEL e da ABSOLAR, a energia solar ainda representa apenas 1,7% da matriz energética do Brasil. A energia solar residencial responde por 72,6% do total, o comércio e serviços por 17,99% e a energia solar rural por 6,25% (ALBUQUERQUE, 2022).

A provisão de energia é um pilar crítico para progresso e desenvolvimento de um país, por isso, é necessário planejar estrategicamente quais fontes de energia são relevantes e disponíveis para melhor atender à demanda da população. A agricultura aumentou a demanda global por água, respondendo por 70% do uso de água neste ambiente. Assim, a necessidade de água é determinada por uma série de fatores, sendo os mais importantes o clima, o solo, o consumo de água das espécies e o estágio de desenvolvimento da cultura (MOSSANDE et al, 2015).

O uso de energia fotovoltaica em conjunto com a irrigação continua a ser uma estratégia relevante para impulsionar a produção agrícola, especialmente em pequenas propriedades rurais. Este estudo tem como objetivo destacar, com base na literatura existente, como a energia fotovoltaica pode ser aplicada para facilitar o bombeamento de água destinada à irrigação em áreas rurais. Além disso, serão apresentados exemplos de como essa tecnologia é empregada tanto no Brasil quanto em escala global. De acordo com dados atualizados até 2023, os sistemas fotovoltaicos foram instalados em um total de 45.000 imóveis, demonstrando um crescimento significativo em relação aos números de 2020. Essa expansão não apenas melhora a eficiência da agricultura, mas agrega valor às propriedades rurais. Vale ressaltar que a preocupação ambiental ainda é um fator preponderante no crescimento deste setor, uma vez que a energia solar é infinitamente renovável (ALBUQUERQUE, 2023).

Neste ponto, fica claro que, devido ao constante uso de água e energia na aplicação do produto - bem como a redução de mão de obra - os sistemas automatizados de controle de irrigação são um aparato essencial para a aplicação de água na quantidade necessária, dentro do período prescrito. Além de facilitarem o processo de fertirrigação e contribuírem para a manutenção da produção agrícola, os sistemas automatizados de controle de irrigação promovem o uso eficiente dos recursos hídricos e maior sustentabilidade. A automação

permite o controle remoto das operações de fertirrigação, bem como o monitoramento da aplicação de água. A ausência da rede de energia elétrica em algumas regiões, principalmente em áreas remotas, é uma desvantagem da utilização desse sistema, pois acarretaria custo elevado para o pequeno produtor rural. Como resultado, a justificativa para a aplicabilidade desse sistema alimentado por energia renovável, sendo aplicada na forma de energia solar fotovoltaica (TESTEZLAF, 2011).

Descobriu-se que, para utilizar a fertirrigação, é necessário entender o tipo de solo, as condições hídricas e os fertilizantes, todos necessários para garantir o pleno desenvolvimento da planta (DUARTE, 2020). Um sistema de fertirrigação bem administrado atende às altas demandas dos produtores rurais, apesar do aumento dos custos de produção e da dificuldade de localização de mão de obra qualificada. Apesar do elevado investimento inicial, reduz o tempo de mão de obra e fertilização e diminui os custos operacionais. Assim, a produtividade melhora quando o equilíbrio nutricional e o fornecimento de nutrientes são priorizados com base nas demandas das plantas (KIANG et al., 2017).

Diante do exposto, é fácil perceber por que os sistemas fotovoltaicos autônomos para bombeamento de água em sistemas de irrigação tornaram-se uma opção economicamente mais viável para os agricultores. Apresenta-se como uma alternativa de baixo impacto que permite ao produtor rural aumentar a produtividade e tornar todo o processo mais eficiente, respaldado por baixos custos de operação e manutenção, além de maior alavancagem do segmento rural e respectivos plantios (HINRICHS e KLEINBACH, 2012). Por fim, o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de um sistema de fertirrigação com ureia por gotejamento com fornecimento de energia a partir de um painel fotovoltaico fixo com controlador e bateria, utilizando o controle estatístico de qualidade para analisar o processo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho de um sistema de fertirrigação por gotejamento com ureia com fornecimento de energia a partir de um painel fotovoltaico fixo com controlador e bateria, utilizando o controle estatístico de qualidade para analisar o processo.

2.2 Objetivos específicos

- Calcular os coeficientes de uniformidade de distribuição de água e concentrações de ureia de 0g/L, 4g/L, 5g/L e 6g/L do sistema de irrigação por gotejamento, pressurizado por bombeamento, alimentado por energia fotovoltaica com o armazenamento em bateria e controlador;
- Avaliar a partir do gráfico de controle de Shewhart e do índice de capacidade do processo, se a variabilidade no fornecimento de energia interferiu nos coeficientes de uniformidade;
- Apontar a concentração limite de ureia visando aos elevados índices de uniformidade e à eficiência de aplicação;
- Analisar os gráficos de controle para a uniformidade da vazão, do pH e da condutividade elétrica em um sistema de fertirrigação por gotejamento com o fertilizante ureia.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este trabalho refere-se ao consumo de energia e às fontes renováveis, com foco na energia solar fotovoltaica; no uso de energia solar fotovoltaica na irrigação; no monitoramento e na avaliação da fertirrigação, ao esmiuçar o Gráfico de controle de Shewhart, o Índice de capacidade do processo; os fertilizantes de fertirrigação, especificamente nitrogênio amida (ureia) e por fim perpassa os efeitos da fertirrigação no plantio. Na revisão, definem-se os conceitos cardiais do trabalho.

3.1 Consumo energético e fontes renováveis

Quando consideramos o contexto nacional, fica claro que a energia desempenha um papel crítico na operação de qualquer país. Isso se deve ao fato de que a demanda por energia continua a crescer ano após ano, à medida que a população e suas necessidades se transformam. A eletricidade é um recurso fundamental para a vida moderna, e a sociedade evoluiu com a ajuda dela. O aumento constante e crescente no consumo de energia se deve ao aumento tanto da população, como das demandas energéticas de indivíduos, comunidades e organizações (COSTA, 2020).

A provisão de energia é um pilar essencial para o progresso e o desenvolvimento de um país. Isso significa que é crucial planejar estrategicamente quais fontes de energia são relevantes e disponíveis para atender de forma eficiente à demanda da população. O planejamento para o uso da energia deve ser feito levando-se em consideração as consequências ambientais, a fim de minimizar os impactos econômicos e garantir o acesso equitativo referente à energia. A demanda crescente por energia em um país é uma estimativa complexa que leva em consideração o progresso e o funcionamento de cada setor, dentro de seu respectivo contexto. Para a obtenção dessas estimativas, são utilizados estudos de crescimento setorial, tecnologias de eficiência energética, políticas públicas, análises econômicas e projeções populacionais (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018).

De acordo com Reis et al. (2012), a energia renovável é aquela cuja reposição pela natureza ocorre mais rapidamente do que seu consumo, como no caso da energia proveniente de rios, marés, sol e vento. Esses recursos podem ser gerenciados de forma compatível com as necessidades humanas, de maneira sustentável e não degradante. Haja vista a energia desempenhar um papel fundamental em escala global, é necessário abordar com cuidado as diversas fontes de energia, conhecidas como matrizes energéticas, que se adaptam às diferentes regiões e realidades. No Brasil, essas matrizes energéticas muitas vezes divergem das tendências internacionais, pois, embora o consumo de energia não renovável possa

superar o de energia renovável, o país utiliza uma proporção maior de energia renovável em comparação ao restante do Planeta (IEA, 2021).

As fontes renováveis de energia no Brasil totalizam 48,30% - quase a metade de nossa matriz energética - e estão assim distribuídas: derivados da cana-de-açúcar com 19,10%, hidráulica com 12,60%, lenha e carvão vegetal com 8,90% e outras renováveis 7,70%. Enquanto as fontes de energia não renováveis respondem por 51,70%, o petróleo responde por 33,10%, o carvão mineral por 4,90%, o gás natural é responsável por 11,80%, a energia nuclear por 1,3% e outras não renováveis por 0,6% (Figura 1) (IEA,2021).

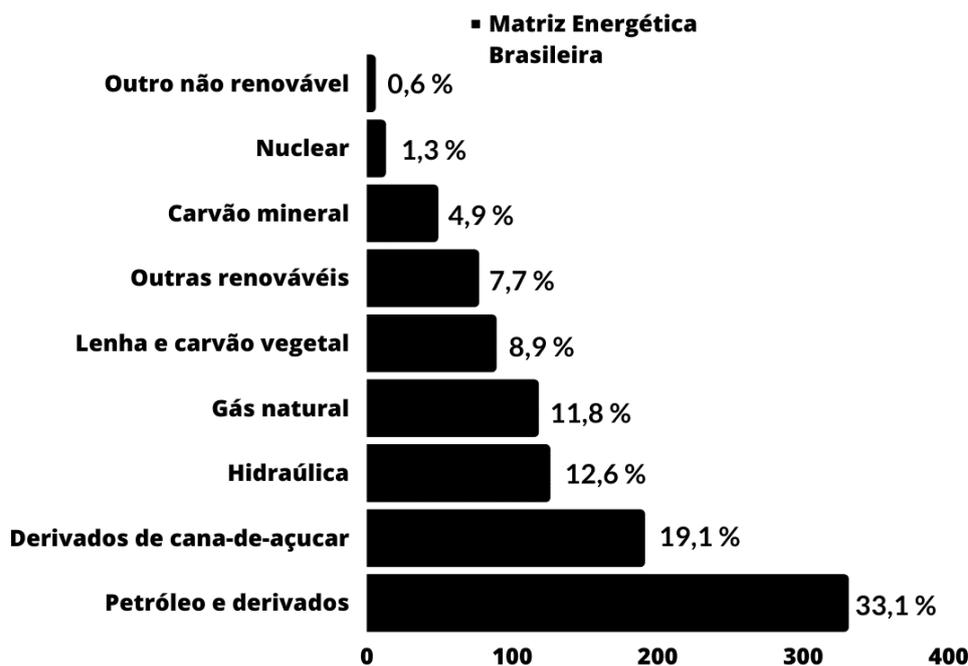


Figura 1 Matriz Energética Brasileira 2020.

Fonte: Adaptado de Balanço Energético Nacional (2021).

Portanto, ao considerar a combinação de fontes renováveis e não renováveis para a geração de energia elétrica no Brasil e no mundo, é importante observar que a matriz elétrica brasileira se diferencia da matriz global por ser predominantemente fundamentada em fontes renováveis de energia. Isso cria um cenário energético favorável e otimista no Brasil. Além dos benefícios de custos operacionais mais baixos, as usinas que produzem energia a partir de fontes renováveis também emitem significativamente menos gases de efeito estufa (EPE, 2020). No entanto, mesmo com essa vantagem, diante dos atuais padrões de consumo e da potencial escassez de combustíveis fósseis, está ocorrendo um aumento exponencial no interesse para que sejam exploradas maneiras mais eficientes e sustentáveis de se produzir e consumir energia. Isso tem motivado a comunidade científica a investigar e aperfeiçoar novas tecnologias para a utilização de fontes de energia com baixo impacto ambiental. A crescente demanda energética e a crise energética associada têm incentivado os pesquisadores na busca por fontes alternativas capazes de preencher adequadamente as

lacunas existentes, com destaque para fontes renováveis preponderantes, como as energias solar, eólica e biomassa (WALKER, 2009).

Por hora, a energia solar se distingue devido a sua ampla gama de aplicações e de nenhuma forma poluir o meio ambiente. Caracteriza-se como uma fonte infinita de energia, pois todos os dias o Sol irradia para a Terra um potencial energético excepcionalmente elevado, sem comparação a nenhum outro sistema energético. Além de ser uma fonte imprescindível e exordial de quase todas as formas de energia utilizadas pelo homem. O Sol é uma das alternativas energéticas mais favoráveis para facear os desafios do novo milênio. E entende-se esse papel triunfante da utilização da energia gerada por ele, pois é a fonte de praticamente todas as demais formas de energia (ALVARENGA et al., 2014).

Vale ressaltar que o Brasil possui um vasto potencial de geração de energia solar devido à sua localização geográfica privilegiada, com grande incidência de radiação solar ao longo de todo o ano. Esse potencial é especialmente evidente nas regiões Nordeste e Centro-Oeste, que recebem elevados níveis de insolação. Além disso, o país dispõe de uma extensa área de terras disponíveis para a instalação de sistemas de energia solar, o que amplia ainda mais as oportunidades nesse setor. De acordo com o "Atlas Brasileiro de Energia Solar", elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e publicado em 2020, o Brasil possui um potencial solar estimado em mais de 6.000 TWh/ano, o que equivale a cerca de 16 vezes o consumo total de eletricidade do país em 2019. Esse dado reflete a magnitude do potencial inexplorado de energia solar no Brasil. Por isso, a exploração desse recurso renovável não apenas contribuiria para a diversificação da matriz energética, ao reduzir a dependência de fontes não renováveis, mas impulsionaria o desenvolvimento sustentável, a geração de empregos e redução das emissões de gases de efeito estufa.

Logo, a indagação energética tem logrado cada vez mais destaque nas discussões sobre desenvolvimento sustentável, tanto pelos impactos ambientais da geração de energia, como pelas implicações acerca do custo e do desempenho dos meios que se vinculam à utilização das fontes de energia renováveis. O destaque aqui vai para o setor do agronegócio, com irrefutável e eminente busca, pesquisa e necessidade do uso mais intensivo de fontes renováveis de energia. Pois, a forma como utilizamos a energia é uma questão crítica neste meio, diretamente ligado a dois fatos primordiais: desempenho e custo (GADENZ e LA RUE, 2014). Isso ocorre diante da inevitabilidade constante para se melhorar a eficiência dos plantios. Faz aumentar o interesse dos produtores rurais para automatizar as operações e, conseqüentemente, as diferentes etapas e partes que compõem esse cenário. A etapa isolada do manejo de irrigação tornou-se uma das mais condicionadas e eficientes, quando o assunto é o emprego da utilização de energia renovável no processo – exatamente pelos fatores de ponderoso desempenho e considerável custo benefício (TESTEZLAF, 2011).

Quanto à etapa do manejo de irrigação, entende-se que, devido ao uso constante de água e energia na aplicação dos produtos e à redução de mão de obra, os sistemas

automatizados de controle de irrigação são um aparato vital para a aplicação de água na quantidade necessária, dentro do prazo escolhido. Além de facilitar o processo de fertirrigação e contribuir para a manutenção da produção agrícola, há o uso eficiente dos recursos hídricos e maior sustentabilidade (TESTEZLAF, 2011). Os sistemas de irrigação tradicionais requerem o uso de mão de obra para serem ativados. Dessa forma, demanda-se esse custo acerca dos operadores para esta função, o acionamento manual é irregular e pode ocasionar irrigação excessiva do solo, cujas consequências são a lixiviação (processo de retirada de nutrientes do solo por diversos agentes naturais, especialmente a água) e uma fertirrigação deficiente entre as irrigações (QUEIROZ et al., 2005).

A automação desempenha um papel fundamental tanto no monitoramento da aplicação de água, como na possibilidade de controle remoto das operações de fertirrigação. No entanto, uma das principais limitações para a adoção desse sistema é a falta de acesso à energia elétrica comercial, especialmente em áreas remotas, o que resultaria em custos proibitivos para o pequeno produtor rural. Portanto, a justificativa para a viabilidade desse sistema alimentado por energia renovável, como a energia solar fotovoltaica, torna-se evidente. Dado o ambiente intrinsecamente competitivo do agronegócio, cada produtor deve buscar maximizar seu potencial e enfrentar a volatilidade de custos, oferta e demanda de insumos (TESTEZLAF, 2011).

Assim, a decisão não se resume apenas à utilização de energia renovável em si, mas à escolha das fontes mais adequadas considerando o tamanho da propriedade, a disponibilidade de recursos financeiros e a compatibilidade com a estratégia de atendimento ao mercado. A escolha por energias renováveis amplia a produtividade e contribuem para a redução dos impactos ambientais. Uma das perspectivas interessantes é a integração de empreendimentos agrícolas que produzem energia renovável para uso próprio ou exportação com a diversificação da produção para gerar outras fontes de renda (CRUZ, 2022).

Diante do exposto, dentre as diversas fontes renováveis de energia, este estudo enfatiza a energia solar fotovoltaica, técnica caracterizada pela conversão direta da radiação solar em energia elétrica por meio de células fotovoltaicas (FADIGAS, 2012). A energia solar fotovoltaica é uma ponderosa fonte de eletricidade, particularmente em áreas distantes dos centros de distribuição de energia, como é caso das regiões rurais. Independente de qual serviço seja priorizado para o local, o uso de energia elétrica sempre será necessário. No caso do manejo de irrigação de plantações, optar por um sistema de irrigação fotovoltaico é uma das soluções sustentáveis para a crescente demanda energética mundial (ABRÃO et al., 2021).

Há décadas o Brasil é um dos países com maior potencial de geração de energia solar fotovoltaica, medrando significativamente em decorrência da distribuição dessa energia gerada. Em dados, 6.727 MW foram gerados em 2020 (MEGAWATT), sendo 45% (3.018 MW) fruto de geração centralizada e 55% (3.709 MW) de geração distribuída (Figura 2). Tais dados

mostram que a fonte solar fotovoltaica pode ultrapassar a potência instalada total da fonte nuclear, com 3.018 MW de potência (1,7% da potência total instalada no país). Apesar de seu pequeno porte em comparação às principais fontes de energia elétrica da matriz energética nacional, como a hidrelétrica (108.217 MW) e o gás natural (15.186 MW), a fonte solar fotovoltaica está em explícita expansão e terá um papel cada vez mais notável no futuro (VANDRESEN, 2020).

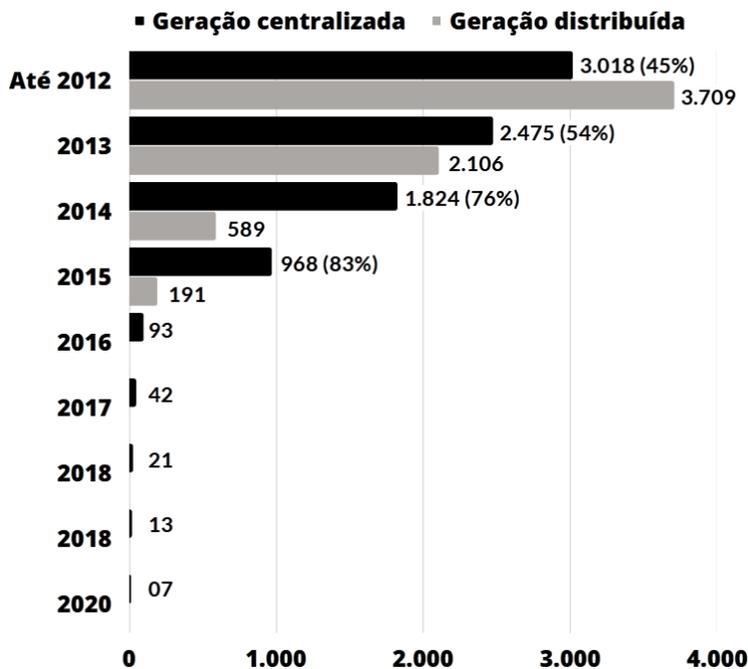


Figura 2 Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil de 2012 à 2020.
Fonte: Elaborado pela autora - Adaptado de ANEEL / ABSOLAR (2020).

O avanço da tecnologia, a maturação da indústria nacional, os incentivos regulatórios e a queda nos preços dos sistemas fotovoltaicos são alguns dos principais fatores que contribuem definitivamente para a estruturação desse cenário. É provável que este progresso possua marcos significativos e expressivos, ou seja, elucidada como a energia solar fotovoltaica tornou-se uma fonte energética de destaque nos últimos anos no Brasil, particularmente no contexto do emergente e efervescente no universo do agronegócio. Despontando resultados positivos no cenário do agronegócio, implantado em lavouras com manejo automatizado de irrigação e fertirrigação (VANDRESEN, 2020).

3.1.1 Energia solar fotovoltaica

Alexandre-Edmond Becquerel foi o físico que apontou a tensão elétrica como uma consequência da ação da luz, no que diz respeito ao eletrodo metálico imerso em uma solução química em 1839. Foi somente em 1956 que a produção industrial de sistemas fotovoltaicos passou a atender às demandas energéticas em satélites artificiais, seguida pelo

desenvolvimento da microeletrônica e da corrida espacial (VILLALVA e GAZOLI, 2012). Foi na década de 1970, diante da crise do petróleo e dos avanços tecnológicos consecutivos que, de fato, alentaram-se as pesquisas associadas ao uso de módulos fotovoltaicos voltados para energia do cotidiano terrestre (FADIGAS, 2012).

O efeito fotovoltaico basicamente transforma a luz em energia elétrica, além de gerar uma diferença de potencial através de uma célula formada por um sanduíche (célula) de materiais semicondutores como o silício. Uma corrente elétrica aparecerá quando as extremidades negativas e positivas da célula forem conectadas por um condutor (Figura 3). Logo, quando expostos à luz, certos materiais produzem eletricidade. Quando a luz alcança alguns dos elétrons soltos de seus átomos hospedeiros, os elétrons livres redirecionam-se para a parte da célula que está faltando elétrons, e esse fluxo de elétrons gera corrente elétrica. Quando agregamos material condutor aos lados positivo e negativo do material para formar um circuito, somos capazes de canalizar a energia elétrica gerada (ALVARENGA et al., 2014)

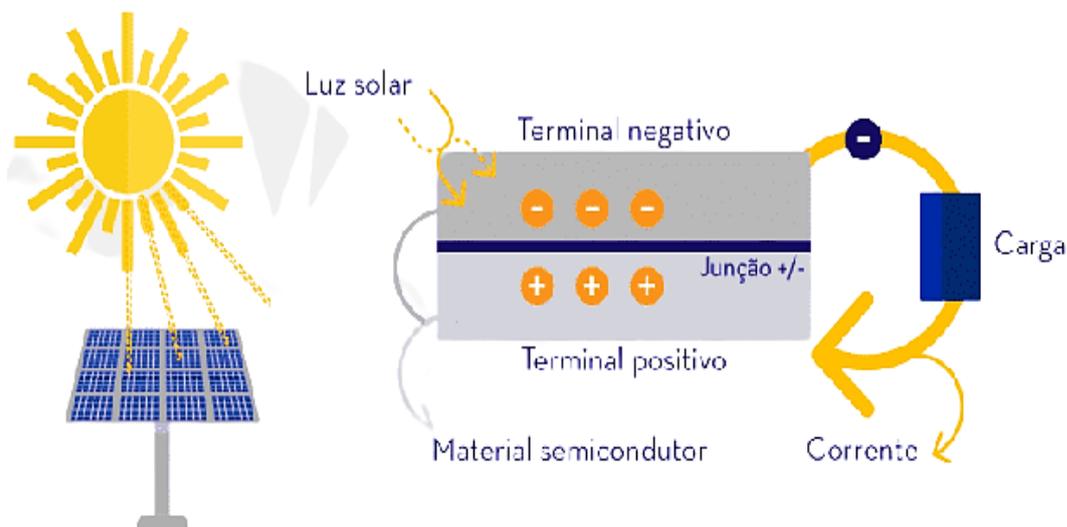


Figura 3 Como funciona a célula fotovoltaica.
Fonte: Solstício Energia – Google Imagens (2017).

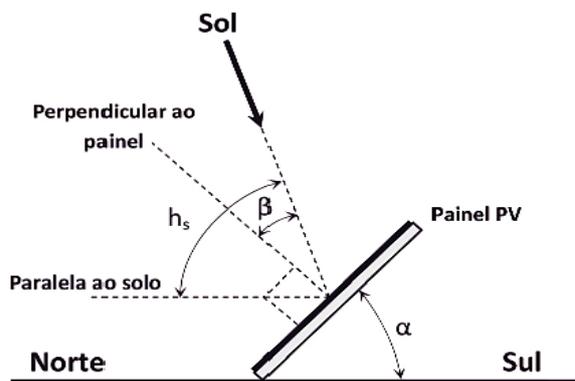
A partir da energia solar disponível, podem ser obtidos dois tipos de energia por fotoconversão: energia solar fotovoltaica e energia solar térmica. A energia fotovoltaica é a geração direta de eletricidade a partir da luz solar. A energia solar térmica (“aquecedor solar”) aplica o calor do sol para aquecer líquidos. Assim, quando exposta à luz, a célula fotovoltaica fornece uma corrente elétrica que tem o potencial de alimentar aparelhos elétricos, carregar baterias (sistemas autônomos) e fornecer eletricidade para ruas, bairros e cidades em sistemas conectados à rede (IBERDROLA, 2022). Por isso, é possível utilizar a energia fotovoltaica nos sistemas automatizados de painéis fotovoltaicos para irrigação de plantações. Esses sistemas utilizam da tecnologia de células fotovoltaicas classificadas em três gerações

com base no material das células solares e laboração dos módulos fotovoltaicos (GÓES e TANIMOTO, 2021):

- Primeira Geração: Wafers de Silício (material semicondutor) foram as primeiras células a serem prototipadas na década de 1950. Devido a sua efetividade de conversão e à viabilidade de matéria-prima, as células de silício cristalino são o tipo mais recorrente, as quais são usadas em instalações de painéis solares mundialmente, correspondendo a 95% da produção fotovoltaica global.
- Segunda Geração: Tecnologias de filme fino são elaboradas pela pulverização de vários semicondutores em filmes finos em superfícies como vidro, metal ou polímeros. São dois tipos de células: as células baseadas em silício (amorfos ou micromórficas) e as células que não usam silício como semicondutor primário (Perovskitas, CdTe, CIGS, CIS). Por requererem menos material (até 99% menos que as células de silício cristalino), suas despesas de fabricação e consequências ambientais são exíguas. As células de película fina refletem somente 5% do mercado mundial de módulos solares fotovoltaicos, consequência da sua eficiência historicamente menor (se confrontadas às tecnologias de primeira geração).
- Terceira Geração: algumas Tecnologias Emergentes listadas são as tecnologias basilares, que estão em fase de estudo e aplicam métodos de acoplamento, processos de fabricação e materiais que diferem daqueles já consolidados. Elas ainda exibem baixas eficiências quando correlacionadas a outras tecnologias já consolidadas.

Por isso, no caso da *performance* do sistema fotovoltaico aplicado em sistemas automatizados de painéis fotovoltaicos para irrigação em plantações, o mesmo é confrangido por diferentes fatores. Alguns exemplos de painéis fotovoltaicos são a irradiação solar, inclinação do sistema fotovoltaico, sombreamento, progressão da temperatura ambiente ou do módulo fotovoltaico, entre outros (FOSTER et al., 2009). A aptidão para a geração de energia dos painéis fotovoltaicos é continuamente proporcional à luminosidade incidente e inversamente proporcional à temperatura. Em temperaturas mais baixas, as tensões são mais elevadas e, em temperaturas mais elevadas, as tensões são mais baixas (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

A incidência de radiação solar recebida e a quantidade de eletricidade disposta será dada pela posição dos painéis em relação à trajetória dos raios solares. Latitude, declinação solar, direção do painel, ângulo horário e inclinação em relação ao plano horizontal são fatores que induzem o posicionamento do painel (Figura 4). Desde modo, o melhor aproveitamento da energia solar ocorre quando os raios solares incidem perpendicularmente aos painéis (OLIVEIRA FILHO e SARAIVA, 2004).



h_s – altura solar em relação ao solo

β – ângulo de incidência solar em relação à perpendicular do painel

α – inclinação do painel em relação ao solo

Figura 4 Posição do painel PV em relação aos raios solares.

Fonte: ALVARENGA; FERREIRA; FORTES (2014) - Adaptado de VILLALVA; GAZOLI (2012).

Entende-se que em decorrência da rotação da Terra, a luz do sol ilumina metade da superfície do planeta a qualquer momento, fazendo com que os dias e as noites oscilem. Como o eixo da Terra é inclinado, a porção iluminada de cada paralelo varia de acordo com a estação, somente durante os equinócios a metade de cada paralelo é iluminada. Com isso, a duração dos dias e noites varia ao longo do ano, com exceção do equador, quando duram cerca de 12 horas cada (VIEIRA e PICULLI, 2009). Visto isso expõe-se como ampliar e estabilizar a geração de energia durante o dia, torna-se uma adversidade a ser superada para consolidar o sistema fotovoltaico nas matrizes energéticas.

A utilização da energia solar fotovoltaica torna-se cada vez mais promissora devido à melhoria na eficiência, às reduções nos custos de fabricação, aos ganhos de escala, aos incentivos e regulamentos e ao crescimento da demanda de energia elétrica no Brasil. Tudo isso impulsionado pela melhoria das condições de vida da população, pela redução da oferta de algumas fontes primárias convencionais de energia e por buscar maior segurança no abastecimento de energia gerada globalmente (ALVARENGA et al., 2014).

Diante do exposto, entende-se o porquê sistemas fotovoltaicos autônomos para bombeamento de água em sistemas de irrigação vêm se tornando uma opção economicamente mais viável para produtores rurais. Além de permitir alavancar ainda mais o segmento rural e respectivas plantações, os sistemas fotovoltaicos se apresentam como uma alternativa de baixo impacto que permitem aos agricultores melhorar a produtividade e tornar todo o processo mais eficiente, devido aos baixos custos de operação e manutenção (HINRICHS e KLEINBACH, 2012).

3.2 Uso de energia solar fotovoltaica na irrigação

O método de irrigação refere-se à forma como a água é aplicada nas respectivas culturas. São quatro os métodos de irrigação: superfície, aspersão, localizada e subirrigação. Dois ou mais sistemas de irrigação podem ser empregados em qualquer um desses métodos (Figura 5). No entanto, é necessário entender que o melhor sistema de irrigação é aquele que se ajusta aos diversos fatores, cujo sistema deve ser adaptado para identificar as características locais e demandas determinantes (ANDRADE e BRITO, 2006).

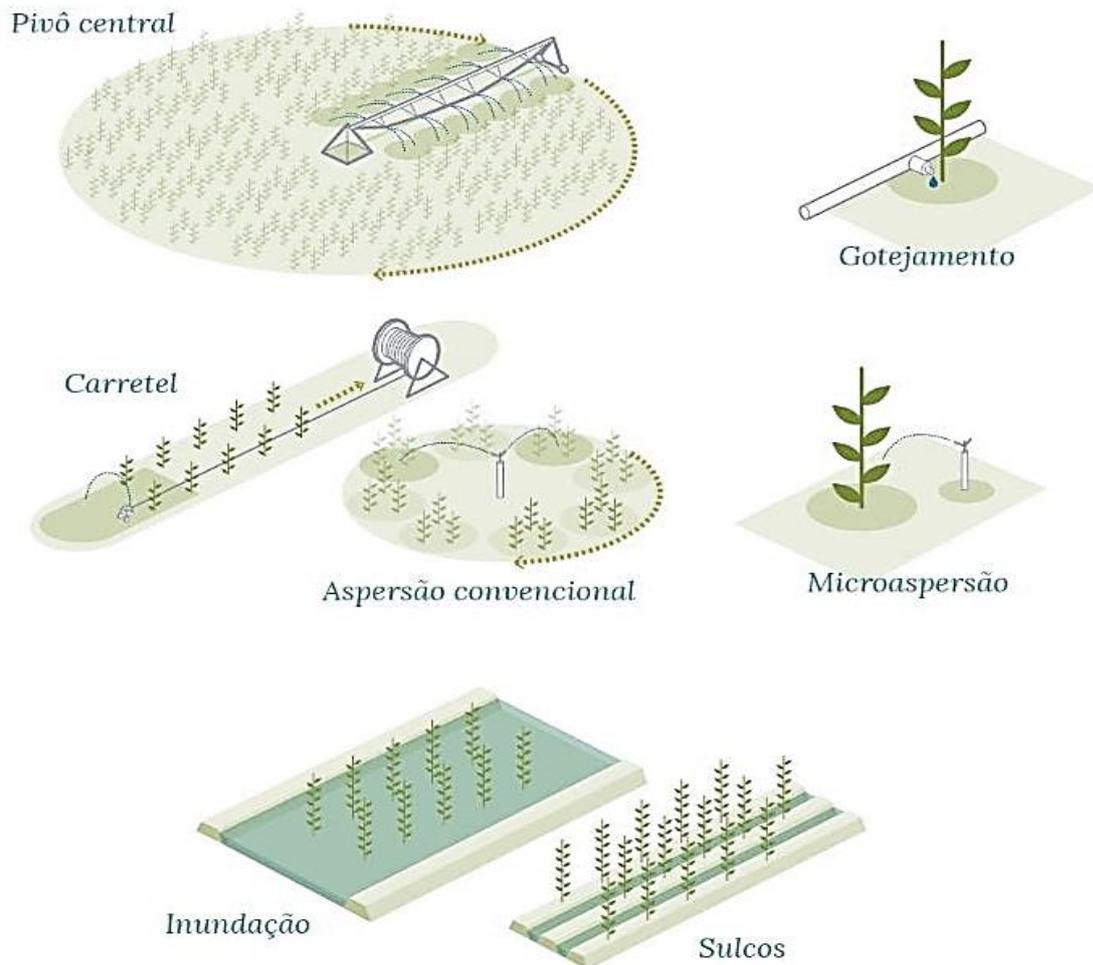


Figura 5 Representações dos principais sistemas de irrigação.

Fonte: Atlas Irrigação – ANA (2021).

A irrigação é definida como um combo de técnicas designadas a deslocar a água no tempo ou no espaço a fim de converter as possibilidades agrícolas de cada região, com o objetivo de reparar a distribuição natural das chuvas e predispor a máxima produção (ZAGO, 2016). Segundo Morales (2011), a irrigação é dividida em irrigação de superfície, irrigação por aspersão e irrigação localizada. Existe também a irrigação subterrânea, a qual é usada com pouca frequência. Assim, a escolha do sistema de irrigação é feita com base em inúmeros fatores, entre eles as características da fonte, a qualidade da água, o tipo de solo, a topografia, o clima, o tipo e a fase da cultura a ser irrigada, o capital de investimento, a força de trabalho e a fonte de energia disponível. A escolha do sistema de irrigação também está associada a

questões políticas, sociais, de saúde e ambientais. A Tabela 1, a seguir, apresenta as condições determinantes para a escolha do método de irrigação.

Tabela 1 Condições determinantes para a escolha de um método de irrigação.

Fator Tipo	Superficial	Aspersão	Localizada
Preço da água	Baixo	Intermediário	Alto
Fornecimento de água	Irregular	Regular	Contínuo
Disponibilidade de água	Abundante	Média	Limitada
Pureza da água	Não limita	Sem sólidos	Elevada
Capacidade de infiltração do solo	Alta	Intermediária a baixa	Qualquer
Capacidade de armazenamento	Alta	Intermediária a baixa	Não limitada
Topografia	Plana e uniforme	Relevo moderado	Irregular
Sensibilidade ao déficit hídrico	Baixa	Moderada	Alta
Valor da produção	Baixo	Moderado	Alto
Custo de mão de obra	Alto	Baixo	Moderado
Custo de energia	Baixo	Médio e alto	Alto
Disponibilidade de capital	Limitada	Médio e alta	Elevada
Exigência em tecnologia			

Fonte: Elaborado pela autora (2022) - Adaptado de PEREIRA e TROUT (1999), *apud* MORALES (2011).

Conforme Lima et al. (1999) destacaram, a irrigação desempenha um papel fundamental na agricultura, pois permite a transferência de água no tempo e no espaço e amplia as possibilidades agrícolas de uma região. A irrigação é aplicada em diversos sistemas de cultivo e atua tanto como complemento à disponibilidade de água das culturas quanto como a principal fonte de irrigação. Em muitas regiões, o consumo de água para fins de irrigação pode representar até 70% do uso total de água (DALRI et al., 2015). Por outro lado, como mencionado por Niedzialkoski (2013), uma das aplicações mais relevantes da energia solar fotovoltaica é o bombeamento de água, especialmente no setor agrícola. A água obtida por painéis fotovoltaicos é utilizada para abastecimento doméstico, irrigação, piscicultura e criação de animais. É uma opção viável principalmente para pequenas propriedades rurais, principalmente em regiões áridas e semiáridas (ANDRADE, 2013).

O uso da energia solar tem demonstrado um crescimento constante ao longo do tempo, tornando-se mais acessível e difundido. Os desafios relacionados aos custos e à eficiência dos painéis fotovoltaicos foram superados graças ao avanço tecnológico. À medida que a tecnologia continua a evoluir e os métodos de captação de energia renovável se tornam

mais eficazes, fica evidente que existem diversas maneiras de gerar energia, as quais minimizam o impacto ambiental (ALVARENGA et al., 2014). Segundo Lima et al (1999), a irrigação permite que a água seja transferida no tempo ou no espaço, a fim de melhorar as possibilidades agrícolas de uma região. A irrigação é usada em vários sistemas de plantio, tanto como suplemento à disponibilidade de água da cultura quanto como única fonte de água para a cultura. Dependendo da região, o consumo de água para irrigação pode representar até 70% do consumo total de água. Por isso a automatização dos sistemas de irrigação são agentes positivos para a obtenção do sucesso no plantio e na produção agrícola (DALRI et al, 2015).

Segundo Niedzialkoski (2013), uma das principais aplicações da energia solar fotovoltaica é o bombeamento de água. No meio agrícola, a água pode ser utilizada para abastecimento doméstico, irrigação, piscicultura e sistemas de criação de animais. O bombeamento de água por meio de painel fotovoltaico é, portanto, uma opção viável para famílias que vivem em pequenas propriedades rurais, principalmente em regiões áridas e semiáridas (ANDRADE, 2013).

O uso da energia solar tem crescido ao longo do tempo, tornando-se mais viável e comum. Os problemas de custo e rendimento associados aos painéis fotovoltaicos foram resolvidos graças ao avanço tecnológico. Assim, à medida que a tecnologia avança e os métodos de captação de energia renovável se tornam mais eficientes, fica claro que existem diversas formas de gerar energia que minimizem o impacto ambiental (ALVARENGA et al., 2014).

Segundo Andrade (2013), é necessário entender tensão, corrente e potência geradas pelo painel, bem como as características do conjunto motobomba e a irradiação média da região ao longo do ano para a implantação desse tipo de sistema. Um sistema de irrigação fotovoltaico é composto por um gerador fotovoltaico, equipamentos de condicionamento de energia, um conjunto motobomba, sistemas de armazenamento (se necessário) e um sistema de distribuição. Um gerador fotovoltaico é ligado a um conjunto motobomba de corrente contínua, que é ligado a um sistema de distribuição, que também pode ser o sistema de geração. Na prática, existem três tipos de sistemas de bombeamento fotovoltaicos (ZAGO, 2016). Eles são apontados da seguinte forma:

- Sistemas de baixa potência (50 a 400 Wp) que usam principalmente um motor de corrente contínua para acionar uma bomba de diafragma de deslocamento positivo. Um conversor (corrente contínua/corrente contínua) é instalado entre o gerador fotovoltaico e o motor para otimizar seu acoplamento. Os sistemas Solarjack SDS e Shurflo 9300 são dois exemplos;
- Sistemas de média potência (400 a 1500 Wp): com duas configurações distintas: uma bomba centrífuga submersível multiestágio com motor assíncrono acionado por um inversor de frequência variável (sistemas Grundfos com condicionamento de potência tipo

SA400 e SA1500) ou os formados por um *brushless* direto do motor de corrente (nessa faixa de potência, eles podem ter uma eficiência maior que os motores de indução, trifásicos convencionais e muito superiores aos motores de indução monofásicos);

- Sistemas que utilizam conversor de frequência: tanto em conjunto com motobomba centrífuga multiestágio como de deslocamento positivo (ambos para uso industrial). Eles superam a potência máxima alcançada pelos sistemas fotovoltaicos (1600 Wp), tornando-se uma solução viável, eficiente e de baixo custo.

Diversas culturas requerem irrigação regular e/ou fertirrigação. Diante dessa demanda, entende-se como os sistemas fotovoltaicos autônomos para bombeamento de água possibilitam uma melhor manipulação da irrigação e um controle da aplicabilidade da fertirrigação, para evitar a perda da safra por estresse hídrico causado por irrigação descontrolada ou escassa. Com a energia fotovoltaica, diferentes tipos de cultivo podem ser propiciados e impulsionados para melhorar os resultados e o desempenho, bem como ponderar cada vez mais o cenário agrícola no contexto mundial no mercado consumidor (ALVARENGA et al., 2014).

Agricultores nos Estados Unidos usam a irrigação por sulcos para espalhar amônia, anidra e vinhaça da cana-de-açúcar desde o final da década de 1940 (MCCOLLAM e FULLMER, 1948). A prática para se aplicar fertilizantes através da água na irrigação difere substancialmente da aplicação no solo, pois apressa o ciclo de absorção dos nutrientes (Figura 6). Dessa forma, este método tornou-se uma das práticas prevaletentes, sendo responsável por propiciar alta produtividade em países onde a agricultura irrigada é aperfeiçoada. Diversos sistemas de irrigação podem conduzir e distribuir agroquímicos junto à água, mas como a uniformidade da distribuição do produto depende da uniformidade da distribuição da água através do sistema, os sistemas de irrigação com alta uniformidade na distribuição da água são mais adequados para fertirrigação (SILVA e FEITOSA FILHO, 2003).



Figura 6 Sistema de Fertirrigação - fertilizantes via água de irrigação. Fonte: Amazon - AgroSciences (2020).

Ressalta-se que sistemas de irrigação como o de gotejamento e de microaspersão são mais hábeis na aplicação de água e oportunizam maior e melhor absorção de muitos nutrientes aplicados nas plantas. Então, quando se trata de fertirrigação, o sistema de irrigação deve ser levado com predileção. As características do sistema de aplicação também são importantes para o uso adequado de fertilizantes na fertirrigação e por isso a aplicação de fertilizantes via água de irrigação apresenta inúmeras vantagens em relação ao sistema convencional. Entre seus benefícios estão: melhor aproveitamento dos equipamentos de irrigação, redução de custos na aplicação de fertilizantes porque a fertirrigação economiza maquinário e mão de obra, a aplicação de fertilizantes ocorre em doses e horários exatos exigidos pelas lavouras e, assim, há maior eficiência no uso de água e fertilizantes e menor compactação do solo (SILVA e FEITOSA FILHO, 2003).

3.3 Sistemas de irrigação utilizando a fertirrigação

O sistema de irrigação por gotejamento é um método de irrigação localizada em que a água é aplicada apenas em uma porção do sistema radicular da planta por emissores pontuais (gotejadores), lineares (tubo poroso ou *gut*) ou emissores superficiais. Com isso, a extensão de área molhada varia de 20% a 80% da área total, que resulta em economia de água. Este mecanismo retém um elevado teor de umidade no solo por irrigação sucessiva e em pequena escala, além de beneficiar as culturas que respondem a essa condição (ANDRADE e BRITO, 2006). Haja vista a água ser aplicada na superfície do solo regularmente em um sistema de irrigação por gotejamento, os gotejadores são instalados sobre a linha, na linha, em uma extensão da linha, ou manejados junto com o tubo da linha lateral (ZAGO, 2016).

A fertirrigação é uma técnica agrícola que combina a irrigação com a aplicação de fertilizantes diretamente na zona radicular das plantas. Essa prática requer uma escolha cuidadosa dos modelos de gotejadores, e como eles são responsáveis pela distribuição, são necessários água e nutrientes. Vários autores têm contribuído para a compreensão dos diferentes modelos de gotejadores utilizados na fertirrigação. De acordo com Silva (2018), os gotejadores autocompensantes são uma escolha comum para sistemas de fertirrigação, pois garantem distribuição uniforme de água e nutrientes, independentemente das variações de pressão na linha de irrigação. A uniformidade é essencial para otimizar o crescimento das culturas.

Por outro lado, de acordo com Santos (2017), os gotejadores de vazão constante são valiosos quando se objetiva manter a taxa de fluxo constante ao longo do tempo. Este manejo permite o controle preciso do volume de água e fertilizantes aplicados e garante o uso eficiente desses recursos. Além disso, conforme Oliveira (2019), os gotejadores reguláveis oferecem flexibilidade, pois permitem ajustar a taxa de aplicação de acordo com as necessidades

específicas de cada cultura e as condições ambientais. Essa adaptabilidade é fundamental para a otimização da fertirrigação. Portanto, a escolha do modelo de gotejador adequado é crucial para o sucesso da fertirrigação. A pesquisa contínua e o desenvolvimento de novos modelos de gotejadores são fundamentais para aprimorar a eficiência desse sistema, pois contribui para o uso sustentável dos recursos hídricos e aumento na produtividade agrícola.

Logo, entende-se que a implementação da irrigação por gotejamento nas variadas culturas é primordialmente devido à elevada eficiência hídrica que proporciona. Por isso, é necessário atentar-se para as variações nos emissores, a alteração de pressão por perda de carga, o desnível geométrico e as possíveis obstruções nos emissores, pois eles impactam diretamente na eficiência e uniformidade de resultados e desempenho (SILVA et al, 2015). A pressão de serviço dos emissores enfrenta uma condição que transcreve os resultados e a eficiência dos mesmos. Ela não deve ser muito alta a fim de evitar consumo excessivo de energia nem muito baixa, pois pode comprometer o desempenho hidráulico. Como resultado, são fabricados gotejadores com diâmetro de seção de fluxo menor e, para evitar obstruções, a seção de fluxo do emissor deve ser a maior possível (DALRI et al, 2015).

Assim, os benefícios de um sistema de irrigação por gotejamento são para além da alta eficiência hídrica, posto que há aumento de produtividade, maior eficiência na fertilização (os fertilizantes podem ser aplicados via água de irrigação) e controle fitossanitário. Há também economia de mão de obra, redução de gastos com energia e a possibilidade de automação. Para isso, evidencia-se a necessidade de eventuais investimentos pontuais, tanto na instalação e aquisição de equipamentos para captação, condução, controle e distribuição de água, quanto nos custos de energia e mão de obra para operação e gerenciamento do sistema, que representam custos adicionais significativos (BOAS et al., 2011).

Dessa forma, os sistemas de irrigação são dispostos para aplicação não somente de água, mas também de produtos químicos dissolvidos. Isso é conhecido como quimigação, mas quando os fertilizantes são injetados na água do sistema de irrigação, este manejo é conhecido como fertirrigação. A adubação é alternativa, eficiente e recorrente para a aplicação tradicional de nutrientes na superfície do solo, pois o fertilizante está prontamente disponível e pode ser aplicado quando dissolvido em água. Ele pode ser absorvido assim que entra em contato com o sistema radicular das plantas (SANTORO et al., 2013).

A fertirrigação pode ser empregada em qualquer sistema de irrigação, mas, segundo Goldber e Shmuell (1970), é mais designada para sistemas de irrigação por gotejamento. A eficiência na aplicação de fertilizantes por sistemas de irrigação por gotejamento com controlador, além de aumentar a eficiência da adubação e do aproveitamento de nutrientes pela cultura, economiza custos, mão de obra e melhora a distribuição de fertilizantes na área, devido à possibilidade de parcelar a aplicação, de acordo com a necessidade da cultura. Os nutrientes sólidos são depositados perto da planta e na superfície do solo em aplicações tradicionais e devem esperar a chuva entrar na solução do solo. Nesse caso, eles se movem

no solo de acordo com a intensidade e a frequência das chuvas e podem ou não ser interceptados pelo sistema radicular. Como o fertilizante hidrossolúvel se infiltra no solo em solução, de maneira uniforme, em toda a região da zona radicular, o tempo para o fertilizante atingir as raízes das plantas é significativamente reduzido quando aplicado via água de irrigação (SOUZA et al., 2011).

Com isso, uma parte significativa das raízes absorve os nutrientes e permite que a planta melhore a capacidade de absorção de nutrientes. Além disso, os fertilizantes são aplicados com a água de irrigação, cujo manejo se espera proporcionar um uso racional da água, ou seja, irrigação com alta uniformidade de distribuição e alta eficiência de aplicação, a fim de reduzir a percolação e a lixiviação. A adubação é muito mais adequada por sistema de gotejamento do que por sistema de microaspersão, pois o sistema de gotejamento alinha o sistema radicular da lavoura com as regiões de maior umidade do volume úmido gerado por um ou mais gotejadores, portanto, otimiza o uso do fertilizante. O sucesso da fertirrigação depende da distribuição de água para as plantas, que deve ser o mais uniforme possível, ou seja, todas as plantas devem receber a mesma quantidade de água e nutrientes (SOUZA et al., 2011).

Essa técnica distingue-se por ministrar nutrientes (via fertilizantes) às plantas em quantidades seletas e com maior constância, assim, há maior eficácia no desenvolvimento das plantas e maior produtividade. A fertirrigação é considerada uma técnica que permite que os nutrientes cheguem às raízes das plantas de forma mais restrita e pontual. Os resultados são a economia de fertilizantes, a manutenção da copa seca, a redução da incidência de patógenos e a queima das folhas. Destaca-se também por ser um método sustentável, pois, quando utilizada corretamente, gera lucro para o produtor e é ecologicamente correta, cumprindo uma importante função social (NUNES, 2018).

A fertirrigação, assim como o uso de fertilizantes, proporciona diversas vantagens para o produtor rural quando bem planejada e aplicada com equipamentos de irrigação bem ajustados. A rapidez e a eficiência são maiores quando são utilizados bons equipamentos de irrigação para aplicar fertilizantes, além do melhor aproveitamento dos resultados e desempenhos dos equipamentos de irrigação. Outra vantagem é a economia nos custos de aplicação de fertilizantes, bem como a redução da necessidade de mão de obra e maquinário. Há também menor gasto de energia para a aplicação de fertilizantes porque eles são aplicados com a água (NUNES, 2018).

Para além, pontua-se que o sistema é uma importante ferramenta de conservação do solo e da água, pois reduz o tráfego de máquinas, a atividade humana na área, evita a compactação do solo e melhora as condições físicas do solo (NUNES, 2018). Dentre os sistemas de irrigação localizada, os gotejadores tiveram menores perdas de água quando comparados aos microaspersores, haja vista o sistema de gotejamento formar uma área

molhada menor do solo quando comparado ao sistema de microaspersão, que libera água no ar (KLAR, 2018).

O uso de fertilizantes durante a irrigação traz muitas vantagens para a atividade, mas existem algumas desvantagens nessa técnica que devem ser consideradas. Um exemplo claro e objetivo é o custo inicial de implantação de um projeto de irrigação, neste caso, para propriedades que nunca haviam feito uso do sistema em questão (SOUZA et al., 2011). Também, deve-se ter uma atenção quanto à escolha do fertilizante, pois, pode haver alguma incompatibilidade quando os nutrientes são misturados entre si. Portanto, é possível que ocorra a redução da solubilidade, a qual provoca a precipitação dos nutrientes no fundo do tanque de mistura, prejudicando a aplicação. A seleção incorreta de nutrientes também pode obstruir os sistemas de irrigação e causar salinidade do solo ou do substrato devido ao uso excessivo de fertilizantes. Por isso, é essencial estar atento para esses fatos (NUNES, 2018).

O presente trabalho evidencia os sistemas de fertirrigação que, em determinadas circunstâncias, têm a energia fornecida por um sistema fotovoltaico, configuração vem ganhando aceitação em áreas remotas devido a sua viabilidade e ao desempenho, bem como a sua capacidade de adaptação em condições climáticas desfavoráveis/adversas (VALER et al., 2016). Quando se tem um sistema alimentado por energia fotovoltaica, a mesma é diretamente ligada à bomba d'água de corrente contínua, com tensão e corrente de terminais iguais à tensão, e corrente da matriz fotovoltaica de forma a ser automatizada. Como resultado, a velocidade da bomba não varia em relação à quantidade de radiação solar incidente no gerador fotovoltaico, pois, o mesmo se mantém sempre abastecido (CHANDEL et al., 2017). Com isso, o uso da automação na irrigação torna-se uma tecnologia que supera essa exigência, pois aumenta e efetiva a geração de energia, tornando-a mais competitiva e consolidando o sistema fotovoltaico nas matrizes energéticas (HOFFMANN et al., 2018). O agricultor está sempre examinando formas de melhorar a produção, e um desses métodos é a aplicação de fertilizantes via água de irrigação (NUNES, 2018).

Painéis solares, um inversor interativo e outros componentes que geram energia ao absorverem a luz solar compõem os sistemas fotovoltaicos. Os painéis solares contêm um número predeterminado de células solares, que são a unidade básica para produzir a tecnologia que permite a conversão de luz solar e energia. Essa fonte de energia pode ser utilizada para aquecer ou bombear água de forma contínua (ZILLI, 2018). O bombeamento de água tem enfatizado a energia fotovoltaica e existem sistemas de irrigação que operam de forma autônoma, sem armazenamento de energia, os quais causam variação de pressão e vazão devido à radiação solar (PAES, 2019). Eles são mais vantajosos do que os geradores a diesel em algumas situações.

Como resultado, uma das aplicações fotovoltaicas mais comuns é o bombeamento de água. Sistemas autônomos de irrigação fotovoltaica sem armazenamento de energia são usados para irrigação de várias culturas em vários climas e condições de crescimento em

todo o mundo. Quando comparado aos sistemas convencionais, um sistema de irrigação fotovoltaico projetado adequadamente resulta em economia significativa de custos a longo prazo, particularmente no bombeamento de água em pequena escala (CHANDEL et al., 2015). O bombeamento de água com sistemas fotovoltaicos economiza dinheiro na compra de combustível e transporte, além de gases poluentes e ruído durante a geração. É uma tecnologia tecnicamente estruturada, altamente confiável e com vida útil superior a 25 anos (BOITRAGO et al., 2016).

Os sistemas de irrigação operaram com vazão e altura manométrica constantes, enquanto os painéis fotovoltaicos não produzem energia contínua devido às variações da radiação solar incidente sobre eles ao longo do dia. Para resolver este problema, um sistema de armazenamento de energia é comumente utilizado, o que eleva o custo do sistema. Esse armazenamento ocorre de duas formas: via baterias ou bombeando a água diretamente para um reservatório localizado em maior altura geométrica (PAES, 2019).

Segundo Reça et al. (2016), o uso de baterias apresenta diversas vantagens, entre elas a capacidade de operar em dias ensolarados e nublados, sem exigir a presença do sol (LÓPEZ-LUQUE et al., 2015). Como resultado, o sistema fotovoltaico autônomo utilizado para irrigação destaca-se por ser aplicável desde pequenas até grandes escalas de produção de energia e tem menor custo inicial de instalação por não necessitar de banco de baterias, além de ser uma opção mais ecológica (MITTAL et al., 2012).

Segundo Oliveira et al. (2018), atualmente, existem diversas alternativas para o bombeamento de água em situações onde não há acesso à rede elétrica ou onde o abastecimento é insuficiente, como bombas manuais, bombas com motor de combustão interna e bombas movidas a eletricidade. De acordo com a Tabela 2, as bombas de energia eólica e solar fotovoltaica são as mais vantajosas, e as bombas de energia solar fotovoltaica são as mais vantajosas.

Tabela 2 Comparativo das vantagens e desvantagens entre alguns tipos de sistemas de bombeamento de água.

Tipo de Sistema de Bombeamento	Vantagens	Desvantagens
Manual	Baixo custo inicial	Alta mão de obra necessária
	Sem custos de energia	Ineficiente para grandes volumes de água
	Simplicidade de operação	Limitado pela capacidade física do operador
Solar Fotovoltaica	Energia limpa e renovável	Alto custo inicial

	Baixos custos de operação e manutenção	Dependência das condições climáticas
	Baixo impacto ambiental	Variabilidade sazonal da disponibilidade solar
	Alta capacidade de bombeamento	Elevado custo de combustível
Diesel	Pode operar continuamente	Poluente devido às emissões de dióxido de enxofre
	Adequado para locais remotos sem eletricidade	Manutenção e substituição de peças custosas
	Energia limpa e renovável	Variabilidade da velocidade do vento
Eólica	Baixos custos operacionais	Alto custo inicial e de manutenção
	Baixo impacto ambiental	Requer monitoramento constante
	Energia renovável e consistente	Alto custo inicial
Hidráulica	Baixos custos de operação e manutenção	Impacto ambiental devido à construção de represas
	Impacto ambiental devido à construção de represas	Pode afetar ecossistemas e habitats aquáticos

Fonte: Elaborado pela autora (2023) - Adaptado de Silva, A. B. (2021).

Diante do exposto, entende-se que a aplicação de fertilizantes com a irrigação pode ser uma técnica muito eficiente em vários aspectos, desde que bem planejada, com equipamentos adequados e seguindo as recomendações técnicas do agrônomo, com acompanhamento e avaliação adequados da fertirrigação. Para que a análise do sistema de irrigação por gotejamento com energia fotovoltaica permaneça consistente e com bom desempenho, devem-se manter o controle e o monitoramento, para que se possa avaliar o sistema de fertirrigação (RIBEIRO e CATEN, 2012).

3.4 Monitoramento e avaliação da fertirrigação

Entende-se que a fertirrigação é uma alternativa tão eficiente devido ao fato de sua aplicação de nutrientes ser na superfície do solo. Assim, os fertilizantes estão prontamente disponíveis e podem ser absorvidos logo que entram em contato com o sistema radicular das plantas (VILLAS BOAS et al., 2003). Por isso, é necessário que se pesquise sobre os múltiplos aspectos da fertirrigação, a fim de garantir sua aplicação precisa. Pois, o uso eficiente dessa técnica deve levar em conta aspectos relacionados às espécies, ao solo e ao sistema de

irrigação. Para garantir a distribuição contínua de água e nutrientes, deve-se estudar a interação entre o sistema de irrigação e os fertilizantes solubilizados. Apesar de ocorrer oscilação quanto ao uso difuso da fertirrigação por gotejamento, às informações sobre o movimento simultâneo da água e aos sólidos dissolvidos (BARROS et al., 2010).

O monitoramento da aplicação de fertilizantes administra primordialmente a concentração da solução injetada, a concentração da solução final na saída dos emissores e a uniformidade de distribuição ao longo da área. Para então, considerar a distribuição de nutrientes no perfil do solo para se avaliar o próprio manejo, com base nos impactos causados no solo que podem influenciar o desenvolvimento das plantas (SOUZA e COELHO, 2001). Dessa forma, pontua-se que a irrigação é definida como um conjunto de técnicas destinadas a deslocar a água no tempo ou no espaço para modificar as possibilidades agrícolas de cada região. Pois, tem como objetivo corrigir a distribuição natural das chuvas e proporcionar a máxima produção de uma cultura. Os coeficientes de uniformidade de distribuição, que expressam a variabilidade da aplicação da lâmina de irrigação, podem ser usados para avaliar um sistema de irrigação. Vários fatores influenciam a uniformidade do sistema de irrigação. Por exemplo, a irrigação por aspersão perde mais água para o meio ambiente do que a irrigação por gotejamento devido à evaporação (ANDRADE; BRITO, 2006).

Segundo Andrade (2013), um sistema de irrigação deve ter boa uniformidade de distribuição de seus emissores para atingir um bom desempenho. Esta uniformidade está relacionada com a variabilidade da linha de irrigação ao longo da extensão da zona húmida, e é expressa em termos de índices ou coeficientes. Os coeficientes mais utilizados são: o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD). Já segundo Cunha et al. (2006), a uniformidade de aplicação de água em sistemas locais de irrigação pode ser expressa por uma variedade de coeficientes. O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) é baseado no desvio médio como medida de dispersão.

Há ainda outro coeficiente a ser avaliado, o CUD que é dado em porcentagem (entre os 25%) e as vazões médias dos emissores (CUNHA et al, 2006). Como cita Haupenthal (2022), a lâmina de cada emissor é medida a partir do volume de água em cada um dos coletores, de forma específica ou em recipientes com áreas e diâmetros conhecidos, durante o tempo de ensaio, que varia de 3 a 5 minutos para o gotejamento (KELLER; KARMELLI, 1975). O CUC e o CUD são parâmetros usados para avaliar a uniformidade da distribuição de água em sistemas de irrigação. A classificação desses coeficientes pode variar dependendo das fontes, mas geralmente segue uma abordagem semelhante.

O CUC é uma medida da uniformidade da irrigação em relação à quantidade de água aplicada. Quanto maior o valor do CUC, melhor a uniformidade. A classificação típica é (ASABE, 2017):

- Excelente: $CUC > 90\%$
- Boa: $85\% < CUC \leq 90\%$
- Adequada: $80\% < CUC \leq 85\%$
- Ruim: $CUC \leq 80\%$

O CUD é uma medida da uniformidade da irrigação em relação à distribuição espacial da água. Novamente, um valor mais alto indica melhor uniformidade. A classificação se dispõe da seguinte forma (ASABE, 2017):

- Excelente: $CUD > 90\%$
- Boa: $85\% < CUD \leq 90\%$
- Adequada: $80\% < CUD \leq 85\%$
- Ruim: $CUD \leq 80\%$

É crucial integralizar o planejamento da irrigação com todos os fatores aos quais ele está vinculado com o intuito de reduzir custos, os quais envolvem questões acerca dos equipamentos e dos custos operacionais. A necessidade de um dimensionamento apropriado e manejo do sistema de irrigação visa aumentar a produtividade e reduzir o consumo de água e energia. Em geral, a busca por benefícios obtidos com o planejamento otimizado em relação à irrigação é progressiva, pois o que se deseja, em última instância, é uma produção elevada e uniforme na área de irrigação (JÚNIOR, 2017).

Como pontua Hauptenthal (2022), muitos estudos são realizados para apurar os fatores de influência dos sistemas de irrigação por gotejamento, a partir da espessura da parede no desempenho hidráulico das mangueiras de gotejamento (SAAD; JEFERY, 2015), até emissores de irrigação localizada de baixo custo, submetidos à baixa pressão (PACHICO; LEVIEN, 2014), e a intensidade da intrusão radicular em gotejadores sob diferentes manejos de irrigação (RESENDE et al., 2016).

Outro agente fundamental, para que ocorram resultados prósperos, está pautado na escolha do fertilizante a ser aplicado na água de irrigação. A seleção deve ser feita após avaliação das características dos produtos para garantir que seu uso seja apropriado e determine o sistema de irrigação. Lembrando-se que é fundamental levar em consideração as necessidades da planta, as características do solo, as mudanças, os aspectos climáticos, etc. As fontes de fertilizantes empregadas devem ser altamente solúveis para que a concentração final do nutriente na solução seja aquela já calculada e não obstrua os emissores, principalmente os gotejadores. Os fertilizantes utilizados na água de irrigação

podem ser sólidos ou líquidos (fluidos), mas é preciso definir a temperatura da água e/ou a pureza do fertilizante com melhor solubilidade (SILVA e SOARES, 2009).

Ressalta-se como a topografia do terreno é um fator importante que contribui significativamente para os valores dos coeficientes de uniformidade. E, para a seleção do sistema de irrigação, levam-se em consideração esses dados (HAUPENTHAL, 2022). A influência da topografia na irrigação pode ser facilmente verificada em locais com declive acentuado, como um sistema de irrigação que, mesmo desligado, continua fornecendo água por um tempo significativo nas regiões mais baixas do terreno, e altera os valores finais de uniformidade do sistema de irrigação (GYASI-AGYEI, 2011). Também é fundamental considerar a compatibilidade das fontes utilizadas no preparo da calda a ser injetada ou misturas de fertilizantes líquidos. Alguns fertilizantes possuem sais em sua fórmula que reagem com os contidos em outro, resultando em precipitados que entopem os emissores e invalidam a garantia do sistema. Para colher os benefícios da fertirrigação, devem ser seguidos os seguintes procedimentos rigorosamente (PEDROSO, 2022):

- Consulte um engenheiro agrônomo para determinar a quantidade de nutrientes e sua distribuição nas fases da planta;
- Verifique a compatibilidade entre fertilizantes durante o preparo da solução;
- Respeite a solubilidade máxima de cada fertilizante em um volume de água;
- Inicie a injeção de fertilizantes após pressurizar o sistema de irrigação, abrir válvulas e manter a pressão adequada;
- Após a fertirrigação, continue irrigando por um tempo determinado, conhecido como tempo de avanço.

Os fertilizantes sólidos que são aplicados na água de irrigação devem ser altamente solúveis. Os nitrogenados, particularmente aqueles na forma de nitrato, são os mais solúveis. Eles são classificados em quatro tipos: nítrico, amoniacal, nitricamônico e amídico. São solúveis em água e podem ser utilizados para fertirrigação, inclusive em sistemas de gotejamento (SILVA e SOARES, 2009). Para melhor monitorar e avaliar os sistemas de fertirrigação, além de solucionar problemas e definir critérios técnicos para a aplicação mais eficiente, as vantagens devem ser analisadas, pois podem ser obtidas diferentes vantagens em comparação aos métodos convencionais de aplicação de fertilizantes, tais como (PINTO e FILHO, 2009):

- Maior aproveitamento do equipamento de irrigação, condicionando maior rentabilidade e melhor uso do capital investido;
- Aplicação dos nutrientes no momento certo e quantidade exata requerida pelas plantas;
- Menor necessidade de mão de obra para que ocorram as adubações, pois aproveita-se praticamente o mesmo trabalho requerido para se fazer as irrigações;

- Menor compactação do solo e evita danos físicos às culturas, com redução de tráfego de máquinas dentro da área; evitam-se derrubadas das flores, de frutos e dos galhos das plantas, além de reduzir a incidência e a propagação de pragas e doenças;
- Aplicação de micronutrientes: geralmente, na adubação em pequenas dosagens por área, dificilmente se consegue por métodos manuais uma boa uniformidade de distribuição do adubo, o que facilmente se consegue com fertirrigação;
- Possibilidade de uso em diferentes sistemas de irrigação;
- Aumento de produtividade e qualidade comercial dos produtos;
- Boa uniformidade de distribuição dos adubos no solo, caso haja, também boa uniformidade de distribuição de água pelo sistema de irrigação.

3.4 Gráfico de controle de Shewhart

Quando o assunto é produção, sempre buscamos, acima de tudo, atender melhor às necessidades dos consumidores, tendo como prioridade máxima a qualidade. A inspeção do produto ao final do processo de fabricação é cada vez mais perceptível na produção em massa (VARGAS et al., 2004). O controle de qualidade apareceu pela primeira vez nos Estados Unidos no início da década de 1930 como uma aplicação industrial do gráfico de controle, desenvolvido por Walter Andrew Shewhart, funcionário da *Bell Telephone Laboratories*. A utilização de um gráfico de controle enfatiza a investigação e a prevenção de problemas de qualidade, pois o controle de processos está no cerne da gestão empresarial (LEONI et al., 2018).

Estes dados são fatores de fabricação ou serviço, como matérias-primas, máquinas, medições, ambiente, mão de obra e método. Os gráficos de controle, ao contrário da inspeção pós-produção, permitem o controle de qualidade durante a produção. Assim, os gráficos de controle demonstram um foco na detecção de defeitos na tomada de ações corretivas assim que são descobertos. Como medida preventiva, evita-se a produção de produtos defeituosos (LEONI et al., 2018), portanto, uma definição aceita sobre qualidade é o inverso da variabilidade (variabilidade insuficiente é sinônimo de desperdício de dinheiro, tempo e esforço), o que aumenta a aceitação do produto. A variabilidade é determinada por meio de medidas específicas, como o desvio padrão (MONTGOMERY, 2004).

O controle de qualidade é necessário porque permite a detecção de falhas. Seu papel é fundamental em fornecer informações não apenas para detectar defeitos, mas também para enfatizar a necessidade de melhoria do processo. Ou seja, identificará as falhas do processo, definirá suas causas e recomendará formas de evitá-las no futuro (MONTGOMERY, 2004). O gráfico de controle de Shewhart é uma ferramenta para especificação de processos,

fabricação e inspeção que, quando utilizada, traz três fases de um processo em completa interdependência (VARGAS et al., 2004).

Pontua-se aqui a principal desvantagem de qualquer carta de controle de Shewhart, segundo MONTGOMERY (2004), pois ela utiliza apenas informações sobre o processo contidas no último ponto plotado e ignora qualquer informação fornecida por toda a sequência de pontos. Devido a esta propriedade, o gráfico de controle de Shewhart é insensível a pequenos e contínuos desvios no processo de até 1,5 de desvio padrão. Montgomery (2009) minuciosa como identificar a variabilidade dos dados usando um gráfico de controle, que consiste em uma linha média (LM), que representa o valor médio das características de qualidade em função do número de amostras ou tempo, um limite superior de controle (LSC) linha e uma linha de limite de controle inferior (LIC) (HAUPENTHAL, 2022):

Segundo o autor, se os valores estiverem plotados entre os limites inferior e superior, o processo é considerado sob controle; logo, nenhuma ação faz-se necessária. Se o ponto ultrapassar os limites, é interpretado como prova de que o processo está fora de controle, necessitando de investigação adicional e ação corretiva (HAUPENTHAL, 2022). No contexto do monitoramento de processos, além da situação mencionada, existem outras condições que podem indicar que o monitoramento não está sob controle:

- Padrões de Sazonalidade: variações sazonais nos dados, que se repetem em determinadas épocas do ano, podem indicar a necessidade de ajustes sazonais nas estratégias de monitoramento;
- Flutuações Não Aleatórias: a presença de flutuações não aleatórias nos dados, mesmo sem ultrapassar os limites de controle, pode ser um sinal de que fatores não identificados estão afetando o processo;
- Instabilidade nos Parâmetros: mudanças significativas nos parâmetros do processo ao longo do tempo podem indicar instabilidade, mesmo que os valores estejam dentro dos limites de controle;
- Ruído Excessivo: a presença de ruído excessivo nos dados pode dificultar a detecção de padrões significativos e tornar o monitoramento menos confiável.

Portanto, o uso de gráficos de controle é uma ferramenta essencial na gestão do processo de irrigação. Essa abordagem fornece inúmeras vantagens, incluindo a melhoria na avaliação do processo de irrigação e o cumprimento de padrões de qualidade rigorosos. Além disso, a utilização de gráficos de controle permite o monitoramento de erros sistemáticos, o fornecimento de informações detalhadas sobre o estado do processo, a realização de cálculos de incerteza de medição na irrigação e a obtenção de evidências sólidas para demonstrar a qualidade das medições realizadas. Essa metodologia não apenas aprimora a eficiência do sistema de irrigação, mas também contribui para o registro histórico confiável de todas as atividades relacionadas à irrigação (VILAS BOAS, 2016).

3.4.1 Índice de capacidade do processo

O sistema de irrigação deve ser realizado da forma mais eficiente possível para obter os melhores resultados de uniformidade na distribuição de água e fertilizantes no caso de fertirrigação por gotejamento. A inadequada uniformidade de aplicação de água nos sistemas resulta em excesso em uma parte da área de cultivo e deficiência em outra, que pode prejudicar a disponibilidade de nutriente à cultura e aumentar os custos de produção (PAULINO et al., 2009). Assim, o objetivo deste processo é distribuir água de forma precisa e uniforme. Outro tipo de monitoramento são as estatísticas de controle de qualidade, que utilizam o índice de capacidade do processo para determinar quando um processo é competente para atender às especificações de seu propósito (SZEKUT et al., 2014).

As estatísticas de controle de qualidade são instrumentos de monitoramento de processo, usadas em vários setores. O controle de qualidade é acertadamente adaptável ao sistema de produção agrícola, pois agrega muitas vantagens à competitividade no campo através da correção e eliminação de desperdícios e falhas, redução de custos e do aumento da produtividade (SILVA et al., 2007), e o gráfico de controle é uma das principais ferramentas utilizadas no controle estatístico de qualidade (MONTGOMERY, 2009).

Por isso, o índice de capacidade do processo (CP) é referido como um parâmetro adimensional que mede o quão bem um processo pode atender às especificações de maneira indireta. Quanto maior seu valor, melhor a capacidade do processo de atender às especificações. A instabilidade do processo reduz a capacidade e aumenta o número de itens não conformes produzidos porque é determinada principalmente pelas especificações e pela variabilidade do processo (COSTA et al., 2004). Como resultado, os índices de capacidade do processo (C_{pi}) são elucidados ao se delinear a capacidade do processo de manter o controle em relação ao limite inferior de especificação (MONTGOMERY, 2009).

O processo é classificado em relação ao índice de capacidade de forma a considerar as especificações do processo que, no caso da irrigação, são definidas pela vazão e pressão do serviço do sistema de gotejadores e na tabela de classificação para definir os valores. Pode ser bilateral ou unilateral, e o índice de capacidade calculado deve ser maior que o índice tabulado para que o processo seja considerado apto. A Tabela 3 apresenta os valores tabulados para a classificação do processo:

Tabela 3 Valores para a classificação do índice de capacidade do processo.

	Especificações bilaterais	Especificações unilaterais
Processos existentes	1,33	1,25
Processos novos	1,50	1,45
Segurança, força ou parâmetro crítico (processos existentes)	1,50	1,45
Segurança, força ou parâmetro crítico (processos novos)	1,64	1,60

Fonte: Elaborado pela autora (2023) - Adaptado de Montgomery (2009).

O controle de qualidade do processo já demonstrou em seus estudos de sistema de irrigação por gotejamento que maiores valores de coeficiente de uniformidade resultam em maiores valores de índice de capacidade do processo (HERMES et al., 2015; KLEIN et al., 2015). Isso torna o monitoramento do controle da irrigação viável e dentro de parâmetros pré-estabelecidos (HAUPENTHAL, 2022). Esses coeficientes de uniformidade são utilizados para avaliar sistemas de irrigação, os quais permitem determinar o percentual de distribuição igualitária na área irrigada. Os coeficientes classificam o sistema de acordo com a faixa de uniformidade alcançada. Conforme mostrado nas cartas de controle, o índice de capacidade pode ser usado para se determinar quão adequada a irrigação é em termos de qualidade, posto que um coeficiente de uniformidade com pouca variabilidade contribui para o aumento do valor desse índice (SZEKUT et al., 2014).

3.5 Fertilizantes para fertirrigação – Nitrogenados

A irrigação teve avanços relevantes nas últimas décadas, tanto no desenvolvimento de novos métodos de aplicação de guias de solo e cultivo quanto na expansão das áreas irrigadas. A aplicação de fertilizantes via guia de irrigação é o método de adubação mais eficiente na fertirrigação, pois combina dois fatores relevantes para o crescimento e desenvolvimento da planta: guia e nutrientes. Por isso, como já citado, o fertilizante a ser aplicado na água de irrigação deve ser escolhido após avaliar as características dos produtos para garantir que seu uso seja adequado ao sistema de irrigação, às necessidades da planta, do solo, etc. (PINTO e FILHO, 2009).

A aplicação de fertilizantes com a água de irrigação, isto a fertirrigação, é praticada em todo o mundo, desde regiões áridas até regiões chuvosas, com expressiva perda de sais por lixiviação. A irrigação por gotejamento é um veículo prático para a aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas - quimigação - além de garantir um abastecimento adequado de água para a planta. Nesse sentido, o conhecimento do comportamento dos nutrientes no solo, com

relação à sua mobilidade e à exigência da cultura durante o ciclo, é um fator a se considerar no manejo dos fertilizantes (PEDROSO, 2022).

Para realizar esta prática, é necessário ter prudência com a origem, solubilidade, compatibilidade e salinidade dos fertilizantes. O nitrogênio e o potássio são comumente aplicados na água de irrigação e podem ser usados em qualquer sistema de irrigação nas seguintes formas: ureia, nitrato ou sulfato de amônio como fontes de nitrogênio e cloreto de potássio branco como fontes de potássio. Fontes de fósforo solúvel, como o fosfato monoamônico purificado e ácido fosfórico, são muito mais viáveis em aplicações pequenas e frequentes. Também é possível aplicar micronutrientes via fertirrigação, utilizando sais ou quelatos como fontes desses microelementos (PEDROSO, 2022).

As fontes de fertilizantes utilizadas devem ser altamente solúveis para que a concentração final do nutriente na solução seja aquela que foi calculada e não obstrua os emissores, principalmente os gotejadores. Outro dado importante é sobre a temperatura da água e a pureza do fertilizante, as quais afetam a solubilidade dos fertilizantes. Soluções transparentes, soluções coloidais e misturas em suspensão são todos tipos de fertilizantes líquidos. Portanto, tanto os fertilizantes sólidos como os fertilizantes líquidos usados na água de irrigação devem ser altamente solúveis (PINTO e FILHO, 2009).

Os compostos nitrogenados, precipuamente na forma de nitrato, são os mais solúveis (Tabela 4). Eles são classificados em quatro tipos: nítrico, amoniacal, nitricamônico e amídico. São solúveis em água e podem ser utilizados para fertirrigação, inclusive em sistemas de gotejamento. Fontes sólidas de potássio, principalmente cloreto e nitrato, são extensivamente utilizadas na água de irrigação por terem maior solubilidade. A aplicação de cloreto de potássio requer cautela, particularmente em sistemas de irrigação por gotejamento. O KCl vermelho pode precipitar, formar crostas nas paredes internas da tubulação de irrigação e causar obstruções nos gotejadores, além de fornecer ferro ao solo em níveis que podem ser excessivos para a cultura. Por sua vez, o KCl branco não fornece ferro ao solo; contudo, como contém alumínio (Al), pode ser tóxico à planta. As fontes fosfatadas são pouco utilizadas via água de irrigação em razão da baixa solubilidade e, caso a água seja rica em cálcio, causará precipitação de fosfato de cálcio dentro da tubulação, entupindo principalmente os gotejadores (BORGES e SILVA, 2011).

Tabela 4 Características dos fertilizantes nitrogenados utilizados na fertirrigação.

Fertilizante Nitrogenado	Teor de Nitrogênio (%)	Solubilidade em Água	Índice Salino (dS/m)	Índice Salino/Unidade (dS/m %N)	Índice de Acidez/Basicidade (pH)
Nitrato de Amônio	34-46	Solúvel	4.4-5.2	0.10-0.12	Ácido
Ureia	46-46.6	Solúvel	Solúvel	0.015-0.022	Neutro
Sulfato de Amônio	20-21	Solúvel	6.2-6.7	0.31-0.33	Ácido
Nitrato de Cálcio	15.5-18	Solúvel	5.0-6.0	0.28-0.33	Neutro
Nitrato de Potássio	13-14	Solúvel	3.1-4.2	0.22-0.24	Neutro
Nitrato de Sódio	16-17	Solúvel	3.8-5.0	0.23-0.28	Neutro
Nitrofoska	Varia	Solúvel	Varia	Varia	Varia
Nitrato de Magnésio	10-11	Solúvel	2.8-3.3	0.25-0.30	Neutro

Fonte: Elaborado pela autora (2022) - Adaptado de BORGES e SILVA (2011).

O nitrogênio (N) é o nutriente mais manipulado na fertirrigação devido à sua alta mobilidade no solo (principalmente em solos arenosos), ao alto teor salino dos fertilizantes que o contêm e à baixa exigência inicial das culturas. O nitrogênio pode ser encontrado nos fertilizantes nas seguintes formas químicas: nítrica [nitrato de cálcio – $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; nitrato de potássio – KNO_3 ; nitrato de magnésio – $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$]; amoniacal [(DAP – $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$; MAP – $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$; sulfato de amônio – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$]; nítrica-amoniacal (nitrato de amônio – NH_4NO_3); amídica [ureia – $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] (BORGES et al., 2009).

Os fertilizantes utilizados na fertirrigação devem ser altamente solúveis, seja para evitar o entupimento dos emissores ou para garantir a concentração da solução, alto índice salino, alto índice de acidez e, em muitos casos, ausência de macronutrientes secundários. A temperatura da água deve estar em torno de 20°C. Para fertilizantes de baixa solubilidade, como o bórax, é melhor aquecer a água antes de misturá-la. A pureza do fertilizante é crítica para sua solubilidade. Condicionadores, óleo ou parafina, argilas e outras impurezas, como óxido de ferro em cloreto de potássio vermelho, têm baixa solubilidade e devem ser evitados na fertirrigação. Devido à sua popularidade, a ureia é a fonte mais utilizada, em função do menor preço e por apresentar menor índice salino/unidade do nutriente (BORGES et al., 2009).

3.5.1. Amídica: ureia – $\text{co}(\text{nh}_2)_2$

As plantas requerem dezesseis (16) elementos para o desenvolvimento normal, treze (13) dos quais são nutrientes minerais. Esses minerais são classificados em macronutrientes e micronutrientes com base em suas quantidades necessárias. Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) são os macronutrientes, enquanto os micronutrientes são boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn). Além dos macro e micronutrientes minerais, a planta requer carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O) do ar e da água (CARRIJO et al., 2005). Os nutrientes fertirrigados com maior mobilidade no solo, como K e N, são os mais utilizados. No entanto, a fertirrigação com P e Ca, principalmente via irrigação por gotejamento e em solos com baixos a médios níveis desses nutrientes, pode resultar em maior rendimento das culturas. A irrigação por gotejamento melhora a eficiência da fertilização, principalmente em solos arenosos, **sintetizando (É ISSO MESMO?)** o fertilizante em áreas de maior umidade e densidade radicular. Ao serem saturados os meios de ligação, altera-se a disponibilidade do nutriente para absorção pela planta para melhorar sua movimentação no solo (MAROUELLI et al., 2001).

O nitrogênio está presente na composição de diversas moléculas de ação biológica, ácidos nucleicos, aminoácidos e proteínas, além de exercer um papel fundamental no crescimento e desenvolvimento das plantas, por isso, é considerado o elemento de maior influência na produção agrícola. A deficiência de nitrogênio prejudica o crescimento das plantas e causa clorose (condição em que as folhas não produzem clorofila suficiente) nas folhas mais velhas. E, em casos severos, elas podem amarelecer e apresentar uma coloração púrpura, caso a deficiência persista por um longo período de tempo (CARRIJO et al., 2005).

Amida (ureia - $\text{co}(\text{nh}_2)_2$) é um fertilizante de destaque utilizado em sistemas de irrigação adequados para fertirrigação por gotejamento com controlador (SILVA et al., 2003). As fontes de nitrogênio mais comumente usadas têm alta solubilidade, alto teor salino, alta acidez e, em muitos casos, nenhum macronutriente secundário. A ureia (Figura 7), fonte mais utilizada devido ao seu menor custo, possui o menor índice salino/unidade de nutriente das fontes comumente utilizadas (BORGES e SILVA, 2011).



Figura 7 Fertilizante mineral simples – UREIA.
Fonte: Acervo da autora (2022).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Irrigação e Fertirrigação (LIF), no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEEA), da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, localizado no município de Cascavel estado do Paraná, nas coordenadas geográficas Latitude $24^{\circ} 58'$ Sul e longitude $53^{\circ} 27'$ Oeste. A área apresenta, de acordo com o programa SUNDATA (2017), irradiação solar diária média de $4,75 \text{ KWh m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ no plano horizontal e $4,96 \text{ KWh m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ no plano inclinado com ângulo igual a latitude (25° Norte) (FIGURA 8).

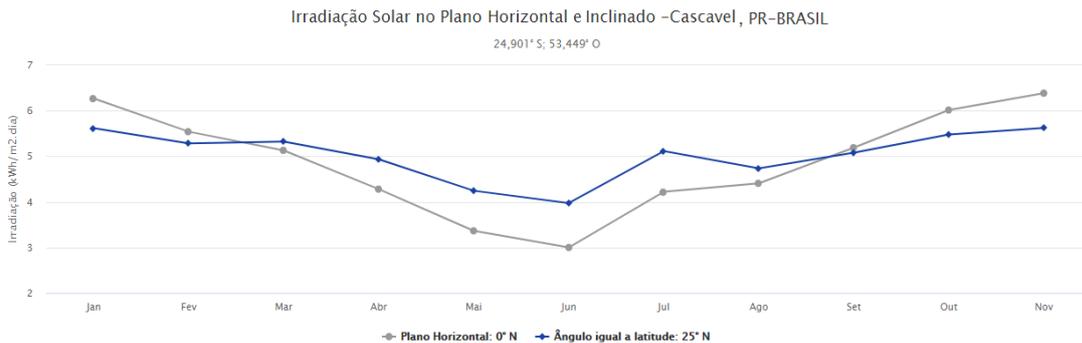


Figura 8 Irradiação solar diária média para a região de Cascavel – PR, no plano horizontal e inclinado.

Fonte: SUNDATA (2017).

Os ensaios de irrigação foram realizados através de um sistema alimentado com energia solar com um módulo de silício policristalino, potência de 150 Wp, da marca Resun Solar, modelo RS6E 150P, direcionados para o Equador (Norte Verdadeiro), onde o sistema fixado e instalado com inclinação referente à latitude do local, ou seja, $24^{\circ} 58'$ (FIGURA 9). O ângulo de inclinação do gerador fotovoltaico deve ser igual à latitude do local onde o sistema será instalado, mantendo-se o painel fotovoltaico perpendicular à movimentação do sol ao longo do dia (PINHO e GALDINO, 2014).



Figura 9 Instalação do módulo fotovoltaico e monitoramento do valor de irradiação paralelamente ao módulo.

Fonte: A autora (2022).

O sistema foi ligado a um controlador de carga solar 30A, Pwm Lcd ligado a um *kit* de duas baterias seladas VRLA Estacionária Recarregável – Bateria de chumbo ácido regulada por válvulas de 12 V com capacidade nominal 7Ah/hora (Figura 10), conectadas diretamente à bomba hidráulica, marca Sun Pumps, modelo SDS-D-228, com vazão máxima de 342 L h⁻¹. O recalque ocorreu até o sistema de irrigação, que utilizou os tubos gotejadores da marca Irritec, modelo P1 espaçados a 0,5 m, caracterizados com 16 mm de diâmetro, pressão nominal máxima de trabalho de 80 kPa. O coeficiente de proporcionalidade da equação do emissor (K) foi de 1,26 e expoente de descarga (x) de 0,48, instalado sobre a bancada de ensaios (Figura 11). A bancada possui 5,0 m de comprimento, com quatro linhas laterais, que por meio de roldanas é possível realizar a volta da linha lateral, obtendo-se 10,0 m de comprimento. Conta ainda com um filtro de disco de 120 mesh.



Figura 10 Instalação do controlador de carga e do kit de baterias.
Fonte: A autora (2022).

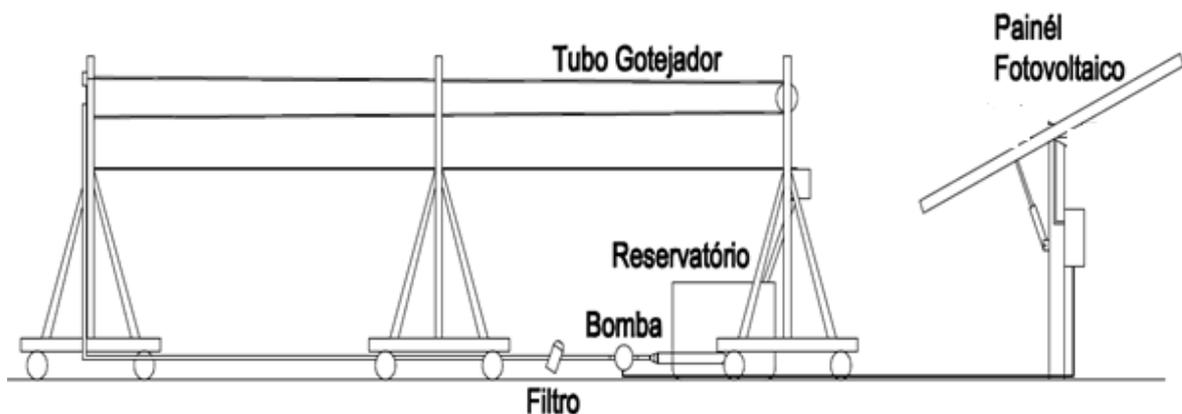


Figura 11 Layout do sistema de irrigação por gotejamento com utilização de energia solar fotovoltaica.
Fonte: HAUPENTHAL, (2022).

A pressão foi monitorada por dois manômetros digitais da marca INSTRUTEMP, modelo 8215 (100 mwc), os quais foram instalados um no início do sistema de irrigação e o outro no final da última linha, para aferir a pressão inicial e final do sistema de gotejamento,

onde os dados foram coletados no início ($t=0$ min), meio ($t= 2\text{min}30$) e fim ($t= 5\text{min}$) do ensaio a fim de se estabelecer uma média para pressão inicial e final. O sistema também conta com um reservatório de capacidade de 100 L onde foi diluído o fertilizante dos ensaios de fertirrigação conforme a Figura 12. A diluição do fertilizante foi realizada em um recipiente Becker de 100mL e posteriormente adicionada à caixa d'água.



Figura 12 Funcionamento da bomba dentro do reservatório e bancada de ensaio com as 4 linhas de gotejadores em nível.

Fonte: A autora (2022).

A coleta de dados de geração de energia do sistema fotovoltaico foi realizada a partir do Alicata amperímetro digital CAT III 600V - ET-3166B, onde os dados de tensão e a corrente foram medidos no período de coleta da vazão do sistema de irrigação. E os níveis de radiação foram registrados por um medidor de energia solar portátil da marca Instrutherm, modelo MÊS-100, Figura 13.



Figura 13 Medidor de energia solar portátil da marca Instrutherm, modelo MÊS-100
Fonte: Google Imagens (2023).

No sistema de irrigação, a coleta dos dados foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Keller e Karmeli (1975). Ela consiste na determinação da vazão em quatro emissores por linha lateral, ou seja, o primeiro gotejador, os gotejadores situados a $1/3$ (17°

gotejador) e a 2/3 (34º gotejador) do comprimento da linha lateral e o último gotejador (50º) em quatro linhas.

Os ensaios foram realizados com fornecimento de energia através do painel solar com o sistema fixo. Portanto, os tratamentos e as diluições ficaram da seguinte maneira:

- Tratamento 1 – Fotovoltaico sem bateria, 0g/L fertilizante;
- Tratamento 2 – Fotovoltaico sem bateria, 4g/L de fertilizante;
- Tratamento 3 – Fotovoltaico sem bateria, 5 g/L de fertilizante;
- Tratamento 4 – Fotovoltaico sem bateria, 6 g/L de fertilizante;
- Tratamento 5 – Fotovoltaico com bateria, 0g/L fertilizante;
- Tratamento 6 – Fotovoltaico com bateria, 4 g/L de fertilizante;
- Tratamento 7 – Fotovoltaico com bateria, 5 g/L de fertilizante e
- Tratamento 8 – Fotovoltaico com bateria, 6 g/L de fertilizante.

O fertilizante utilizado foi a ureia da fabricante HUMUSFERTIL que é um fertilizante mineral simples rico em nitrogênio com ação verdejante, que acelera o processo de crescimento e dá vigor às plantas. O fertilizante foi pesado conforme os tratamentos e diluído na água do reservatório para posterior irrigação na bancada. O processo se repetiu para duas estações do ano, inverno e verão, nos meses de janeiro e julho, respectivamente, visando à melhor representatividade da variabilidade dos níveis de irradiação solar, ocasionada pela translação da Terra.

Para que ocorra igualdade dentro do período de coleta, todos os tratamentos ocorreram dentro do intervalo das 9:00 às 17:00 horas. Os coletores foram posicionados para a mensuração da vazão às 9:00, 10:00, 11:00, 12:00, 13:00, 14:00, 15:00, 16:00 e 17:00 horas. Para cada tratamento, foram coletados três dias dentro dos horários pré-estabelecidos, somando-se no total 27 ensaios. Cabe ressaltar que a coleta ocorreu em períodos de céu aberto, mas, mesmo em períodos de passagens de nuvens, a coleta foi realizada conforme estabelecido, pois o *kit* de baterias foi instalado justamente para manter a carga de energia juntamente com o controlador de carga, e fazer com que o sistema funcione com carga estável mesmo em dias nublados evitando-se assim alterações significativas nos coeficientes de uniformidade.

Os valores do pH e da condutividade elétrica foram obtidos individualmente para cada amostra de cada ensaio. O pH foi aferido com o pHmetro de bolso compensação automática de temperatura, faixa pH 0 – 14 da marca Kasvi e a condutividade com o condutivímetro de bolso, 0 – 1999 $\mu\text{S}/\text{CM}$ também da marca Kasvi (Figura 14).



Figura 14 Condutivímetro e pHmetro – kasvi.
Fonte: Google Imagens (2023).

A vazão dos gotejadores foi mensurada pelo método gravimétrico, a fim de se obter maior precisão. Com o volume coletado nos emissores durante cinco minutos, conforme recomendado pela NBR 9261 (ABNT, 2006), para determinar a vazão dos emissores, conforme a Equação 1.

$$q = \frac{V}{1000 \times t} \times 60 \quad \text{Eq.(1)}$$

Em que:

q - Vazão do gotejador;

L h⁻¹; V - volume coletada;

mL; t - Tempo de coleta, minutos.

A fim de avaliar o sistema de irrigação, utilizou-se o CUC, desenvolvido por Christiansen (1942), e o CUD proposto por Merriam e Keller (1978), conforme as Equações 2 e 3, respectivamente.

$$CUC = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - x_{med}|}{n \cdot x_{med}} \right\} \quad \text{Eq.(2)}$$

Em que: CUC:

Coeficiente de Uniformidade de Chistiansen (%);

x_i : Valores individuais do volume de água contido nos coletores (mm);

x_{med} : média geral do volume de água coletado (mm);

n : Número de coletores na área de ensaio.

$$CUD = 100 \left(\frac{x_{25}}{x_{med}} \right) \quad \text{Eq.(3)}$$

Em que:

CUD: Coeficiente de Uniformidade de distribuição (%);

X_{25} : Média do menor quartil dos volumes de água nos coletores (mm);

x_{med} : média geral do volume de água coletado (mm);

Tabela 5 Classificação dos coeficientes de uniformidade (CUC e CUD).

Classificação	CUC (%)	CUD (%)
Excelente	> 90	> 90
Bom	90 – 80	90 – 80
Aceitável	80 – 70	80 – 70
Ruim	70 – 60	70 – 60
Inaceitável	<60	<60

Fonte: Frizzone et al. (2012).

os gráficos de controle de Shewhart foram confeccionados para monitorar os resultados do fornecimento de energia (potência) e o sistema de irrigação (CUC e CUD), com o objetivo de investigar os parâmetros durante os ensaios. Para tal, foram calculados os valores de limite superior de controle (LSC) e a linha inferior de controle (LIC), com base nas Equações 4 e 5.

$$LSC = \bar{X} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2} \quad \text{Eq.(4)}$$

$$LIC = \bar{X} - 3 \frac{\bar{R}}{d_2} \quad \text{Eq.(5)}$$

De acordo com a tabela descrita por Montgomery (2009), em que:

\bar{X} : Média das médias;

\bar{R} : Média das amplitudes dos dados;

d_2 : 1,128 para $n=2$, considerando-se médias individuais.

Calculou-se o índice de capacidade do processo (Cpi), pela metodologia proposta por Montgomery (2009), para os resultados de CUC e CUD a partir do limite inferior de especificação (LIE) a fim de verificar se a irrigação seria capaz manter um nível satisfatório de capacidade, utilizando a Equação 6.

$$C_p = \frac{\bar{\bar{X}} - LIE}{3\sigma} \quad \text{Eq.(6)}$$

Em que:

$\bar{\bar{X}}$: Média das médias;

LIE: Limite inferior de especificação;

σ : Desvio padrão.

A classificação do processo para os valores de uniformidade propõe como capazes ou adequados aqueles com $C_{pi} \geq 1,25$, haja vista que são processos considerados existentes, e com especificações unilaterais (MONTGOMERY, 2009), no caso 80 e 90%, para classificação da uniformidade como bom ou excelente, respectivamente.

As técnicas de controle estatístico de qualidade, bem como os gráficos de controle de Shewhart e índice de capacidade do processo foram calculados utilizando o software MINITAB, versão 16.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Estatística descritiva dos dados

A Tabela 6 apresenta a estatística de cada tratamento, na qual constam os valores de média, coeficiente de variação, correspondentes aos valores de irradiação ($W m^{-2}$) e potência do sistema fotovoltaico, juntamente com o comparativo de média de ambos os tratamentos, aplicando-se o teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Tabela 6 Estatística dos dados de ambos os tratamentos em relação à energia gerada

ENERGIA GERADA									
Tratam.	Irradiação (W/m^2)	CV Irradiação (%)	Potência (W)	CV Potência (%)	Tensão (V)	CV (%)	Tensão Corrente (A)	CV Corrente (%)	
T1	728,71	33,49	159,76 A	33,49	25,96 A	7,36	5,92 B	33,49	
T2	499,34	39,32	111,39 B	40,77	26,80 A	7,23	4,06 C	39,30	
T3	477,85	25,70	104,82 B	25,62	26,59 A	7,24	3,88 C	25,62	
T4	463,62	21,45	101,64 B	21,45	26,48 A	7,37	3,76 C	21,45	
T5	983,67	13,23	158,32 A	14,52	20,63 B	9,59	7,92 A	14,52	
T6	927,97	12,68	150,70 A	12,68	20,48 B	9,42	7,54 A	12,68	
T7	939,01	11,07	152,49 A	11,07	20,33 B	9,63	7,62 A	11,07	
T8	938,02	11,41	152,33 A	11,41	20,22 B	9,84	7,62 A	11,41	

Médias seguidas de letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: a autora (2023).

A partir da análise dos valores de irradiação, nota-se uma distinção entre os tratamentos de 1 a 4 em relação aos de 5 a 8, uma vez que os valores são distintos pelo fato

dos quatro primeiros terem sido coletados no período de inverno, enquanto os demais foram coletados no período de verão, portanto, condizentes com os valores de irradiância média que aumentam de 3,85 kWh/m² dia para 5,87 kWh/m² dia (CRESESB, 2018).

Valores que são refletidos na potência do sistema fotovoltaico como os maiores valores no período do verão. Cabe ressaltar que além de maior produção de energia o período ficou caracterizado pela maior estabilidade na produção, com o coeficiente de variação menor que 15% em todos os tratamentos referentes ao verão. Este resultado é similar aos experimentos de Haupenthal (2019) que, ao analisar um sistema de irrigação com sistema fotovoltaico autônomo, encontrou os maiores valores de potência para a coleta realizada na primavera.

Apesar da variabilidade nos valores de irradiação e potência, a tensão do sistema energético apresentou maior estabilização, uma vez que houve a utilização de um controlador de carga em todos os tratamentos, e os valores de CV não ultrapassaram os 10%, demonstrando homogeneidade nos valores (Montgomery, 2009). Entretanto, quando os valores de corrente do sistema energético foram analisados, constatou-se uma alta variabilidade, portanto, a utilização do controlador de carga, apesar de diminuir a variação da tensão, não manteve a mesma característica nos valores de corrente. A consequência foi a obtenção de elevados valores de potência com coeficiente de variação, principalmente no período de inverno.

5.2 Estatística dos parâmetros de vazão e pressão

A Tabela 7 apresenta a estatística descritiva de cada tratamento, na qual constam os valores de média, desvio padrão, coeficiente de variação, valores mínimo e máximo que correspondem aos valores de vazão (L h⁻¹) e o valor médio de pressão (Bar), juntamente aos valores comparativos de média de todos os tratamentos, quando foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Tabela 7 Estatística descritiva dos dados de vazão e pressão dos tratamentos

Tratam.	VAZÃO				PRESSÃO	
	Mínimo (L.h ⁻¹)	Média (L.h ⁻¹)	Máximo (L.h ⁻¹)	CV (%)	DP (L.h ⁻¹)	Média (Bar)
T1	0,558	0,658 D	0,768	8,505	0,057	0,559 D
T2	0,495	0,614 DE	0,721	8,926	0,085	0,589 CD
T3	0,454	0,543 E	0,605	7,718	0,081	0,599 CD
T4	0,424	0,536 E	0,604	11,28	0,100	0,602 C
T5	0,691	0,811 C	0,967	9,591	0,078	1,484 A
T6	0,862	0,998 A	1,158	8,926	0,085	1,422 B
T7	0,917	1,051 A	1,168	7,718	0,081	1,435 B
T8	0,751	0,897 B	1,079	11,037	0,100	1,444 AB

Médias seguidas de letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: a autora (2023).

Quanto aos valores médios de vazão, observa-se uma distinção estatística entre os tratamentos coletados no período de verão, em que os tratamentos 6 e 7 mantêm-se superiores aos tratamentos 5 e 8. Cabe destacar que a vazão média desses tratamentos é condizente com o valor nominal de funcionamento do gotejador estipulado dentro da faixa de 0,8 a 1,1 L.h⁻¹. Todavia, os valores de vazão dos tratamentos coletados no período de inverno, além de estatisticamente inferiores, não alcançaram a vazão nominal de funcionamento do sistema de gotejamento.

A resposta encontrada na vazão fica claramente espelhada na pressão, em que os maiores valores, tanto numéricos quanto estatísticos, encontram-se nos tratamentos coletados no período de verão (tratamento de 5 a 8), com a padronização de funcionamento dentro dos valores nominais do gotejador. Enquanto os tratamentos de inverno (tratamentos de 1 a 4) classificaram-se estatisticamente inferiores e abaixo do valor nominal de funcionamento (0,8 a 1,7 Bar).

5.3 Estatística dos parâmetros de uniformidade

A Tabela 8 apresenta as médias de cada tratamento, na qual constam os valores de CUC (%), CUD (%), coeficiente de variação (%) e desvio padrão (%).

Tabela 8 Estatística dos dados dos oito tratamentos em relação aos coeficientes de uniformidade.

Tratam.	UNIFORMIDADE					
	CUC (%)	CV CUC (%)	DP CUC (L h ⁻¹)	CUD (%)	CV CUD (%)	DP CUD (L h ⁻¹)
T1	90,33 AB	4,516	4,080	89,475 AB	3,273	2,928
T2	88,27 BC	3,429	3,027	85,610 C	2,279	1,951
T3	93,82 A	1,844	1,730	90,856 A	2,144	1,948
T4	89,28 B	5,927	5,292	87,101 BC	5,288	4,606
T5	88,66 BC	5,838	5,176	89,185 AB	4,340	3,871
T6	88,22 BC	3,219	2,840	89,284 AB	4,835	4,317
T7	86,96 BC	4,175	3,631	90,568 A	1,462	1,324
T8	85,72 C	7,119	6,103	87,652 BC	4,005	3,510

Médias seguidas de letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: a autora (2023).

Os tratamentos 1 e 3 atingiram valores de excelência em relação aos valores de CUC, enquanto os demais tratamentos foram classificados como bons e, apesar da variabilidade quanto à classificação da uniformidade, as médias de CUC mantiveram-se estatisticamente iguais a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Já em relação ao coeficiente de variação, todos os tratamentos apresentaram baixos valores, o que indica a existência de pouca variabilidade.

Os tratamentos 3 e 7 destacam-se em relação ao CUD, os quais foram classificados como excelentes, pois ultrapassaram os 90%, enquanto os demais tratamentos foram classificados como bons. É similar ao ocorrido com os valores de CUC o CUD também apresenta homogeneidade dos dados uma vez que o CV se manteve abaixo de 10% (MONTGOMERY, 2009).

Portanto, a partir dos dados de uniformidade, pode-se constatar que, apesar da variabilidade na produção de energia, mesmo com a utilização do controlador de carga com a variação na concentração do fertilizante, não surtiu efeito negativo na uniformidade, uma vez que as médias de CUC e CUD mantiveram-se estatisticamente iguais a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Pode-se considerar que os resultados não foram satisfatórios quando os valores de uniformidade foram analisados comparativamente com os resultados em que se utilizou apenas de água. Vale ressaltar que o estudo conduzido por Filho et al. (2018) com o mesmo sistema de irrigação por gotejamento Irritec P1, passou por análise quanto ao desempenho hidráulico do gotejador Irritec P1, com alteração na pressão, e os valores obtidos foram de 97,64% para CUC e 96,03% para CUD. Contudo, para a uniformidade a partir da utilização de concentrações variadas de fertilizante, os valores são condizentes aos encontrados por Goés (2021), a qual, ao analisar um sistema de irrigação com o gotejador Irritec P1, e aplicação de fertilizante em concentrações variadas, encontrou valores de 86,87% para CUD e 92,84% para CUC, portanto, condizentes com os encontrados por esse estudo.

5.4 Análise da Regressão linear das variáveis de interesse no sistema de fertirrigação por gotejamento

As equações a partir das médias dos dados foram obtidas para verificar a associação existente entre a irradiação, potência, vazão, pressão e CUD. Para tanto, adotou-se o coeficiente de determinação (R²) para expressões com o melhor ajuste, as quais estão apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 Regressão entre irradiação, potência, pressões, vazão e CUD do sistema de irrigação por gotejamento fotovoltaico

Expressão	R ²
Potência = $2E-05*(Irradiação)^2 + 0,1621*(Irradiação) + 5,1465$	99,16%
Potência = $-12965*(Pressão)^2 + 26773*(Pressão) - 13680$	53,22%
Vazão = $-2,5651*(Pressão)^2 + 4,1797*(Pressão) - 0,6641$	43,69%
CUD = $-63,156*(Vazão)^2 + 100,52*(Vazão) + 48,81$	16,57%
Potência = $-8,4993*(CUD)^2 + 1513,7*(CUD) - 67254$	20,30%
Potência = $5124,3*(Vazão)^2 - 7961,5*(Vazão) + 3223,9$	32,14%

Fonte: a autora (2023).

A partir dos resultados, percebeu-se a existência de uma forte correlação polinomial entre os parâmetros de irradiação e potência e, a partir da expressão, verifica-se que com o aumento da irradiação, aumenta-se o valor de potência. Este aumento se caracteriza principalmente em horários de pico (11:00h as 14:00h), quando os maiores valores registrados de irradiação condizem com os maiores valores registrados de potência do sistema fotovoltaico.

Porém, em relação à potência e à pressão, observa-se uma correlação polinomial média, que pode apontar que os valores elevados de potência não significam maior pressão no sistema de irrigação, uma vez que a utilização do banco de baterias e do controlador de carga estabiliza o fornecimento de energia e torna o funcionamento da bomba d'água normatizado. Nota-se também a baixa correlação entre pressão e vazão, valor que pode ser descrito pelo fato de o sistema de gotejamento configurar-se com tecnologia autocompensante, ou seja, independente do aumento ou diminuição da vazão, os gotejadores mantêm a vazão próxima aos valores nominais (SILVA et al., 2015).

Em pesquisas relacionadas ao desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento, Zocoler et al. (2015) obtiveram o coeficiente de determinação (R^2) de 98% da vazão em função da pressão para gotejador novo, na qual adequaram um modelo exponencial crescente com a expressão: $Vazão = 2,3034 * (1 - e^{-0,04 * P})$. Da mesma forma, em pesquisas com sistema de irrigação por gotejamento, Gonçalves et al. (2013) obtiveram a expressão da vazão em relação à pressão de serviço a partir da regressão linear: $Vazão = 0,56 * P - 0,234$, com $R^2 = 99,7\%$. Hermes et al. (2015) utilizaram água limpa em irrigação por gotejamento e obtiveram R^2 de 82,43% a partir da equação: $Vazão = 0,005 * P^{1,7507}$. Considera-se, portanto, que os estudos acima citados apresentaram seu funcionamento com energia da rede de distribuição padrão (COPEL), tornando o bombeamento estável e os gotejadores sem a tecnologia autocompensante, cuja relação pressão e vazão é comprovadamente correlata.

Por fim, diagnosticou-se que tanto a potência do sistema fotovoltaico quanto a vazão do sistema de gotejamento não apresentaram correlação satisfatória em relação à uniformidade de distribuição com valores de R^2 que atingiram 20,30% e 16,57%, respectivamente. Essas diferenças entre as expressões indicam que os fatores sofrem influência de diversos fatores, entre elas, o tipo de sistema, o equipamento utilizado, a tecnologia aplicada ao equipamento e até mesmo a sua finalidade.

5.5 Análise dos parâmetros de fertirrigação

A Tabela 10 apresenta as médias de cada tratamento, para os parâmetros de pH e condutividade, na qual constam os valores de coeficiente de variação (%), desvio padrão e CUD (%).

Tabela 10 Estatística dos dados dos oito tratamentos em relação ao pH e à condutividade

Trat.	pH			CONDUTIVIDADE (uS/Cm)				
	Médias	CV (%)	DP (pH)	CUD (%)	Média (uS/Cm)	CV (%)	DP	CUD (%)
T1	7,81 CD	1,95	0,15	98,30 B	81,11 B	4,29	3,66	96,37 A
T2	7,88 BC	1,70	0,13	98,49 B	68,52 C	1,96	1,34	98,01 A

T3	7,94 B	1,00	0,08	99,11 AB	72,28 BC	1,18	0,85	98,73 A
T4	8,07 A	0,34	0,03	99,70 A	108,06 A	2,09	2,42	98,03 A
T5	7,75 D	1,95	0,15	96,40 C	66,67 C	4,29	3,66	96,30 A
T6	7,69 D	1,70	0,13	96,64 C	67,54 C	1,96	1,34	97,07 A
T7	7,78 D	1,00	0,08	96,91 C	67,54 C	1,18	0,85	97,07 A
T8	7,78 D	0,34	0,03	96,97 C	67,54 C	2,09	2,42	97,07 A

Médias seguidas de letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: a autora (2023).

Pode-se observar que todos os tratamentos, tanto CUC quanto CUD, superaram o valor de 96% para verificar se a variabilidade implicada em cada tratamento resultaria em distinção nas uniformidades da aplicação de fertilizante, ou seja, a distribuição do fertilizante indicada pelos parâmetros de pH e condutividade, caracterizados ao longo das linhas laterais de gotejamento, foram excelentes perante a classificação.

Outro indicativo a ser considerado é o valor de coeficiente de variação que se manteve abaixo de 5% em todos os tratamentos, ou seja, as amostras apresentam homogeneidade segundo Montgomery (2009). Contudo, para o valor médio de pH, o tratamento 4 foi estatisticamente superior em relação aos demais tratamentos, mantendo-se no agrupamento A. Este valor foi também observado na condutividade, uma vez que o tratamento 4 apresenta maior concentração de fertilizante, com 600 mg/L. Pode-se ainda destacar que ocorreu uma diminuição tanto nos valores de pH quanto nos valores da condutividade nas coletas durante o período de verão, quando o apontamento para tal característica pode ser o fato da vazão ter sido maior nesse período, e quanto maior é a vazão, maior é a diluição, logo ocorre a diminuição dos valores de pH e da condutividade.

Os valores médios obtidos para o pH da água limpa e água com fertilizante apresentaram resultados acima dos limites previstos. Segundo Nakayama et al. (2007), valores de pH acima de 7,2 favorecem a precipitação de elementos como cálcio e magnésio em filtros, canos e emissores, e contribuem para o entupimento do gotejador. Diante disso, verifica-se que o aumento da concentração de ureia em 6 g L⁻¹ influenciou o acréscimo do pH ao apresentar 8,07. A condutividade elétrica medida nos ensaios permanece dentro dos valores indicados por Nakayama e Bucks (1986), que não aconselham utilizá-la para a irrigação quando apresentar CE acima de 3,0 dS.m⁻¹.

5.5 Gráficos de controle de Shewhart

Para identificar se o processo esteve ou não sob controle estatístico para os tratamentos, foram elaborados gráficos de controle de Shewhart para medidas individuais de

CUC e CUD, a fim de identificar a variação da uniformidade durante os ensaios. O mesmo procedimento ocorreu para os gráficos de variáveis como pressão, vazão e potência, com o objetivo de justificar a variabilidade dos coeficientes de uniformidade. Para tanto, a Figura 15 apresenta os gráficos de controle em relação à Potência, à Pressão, à Vazão, ao CUC e ao CUD para o Tratamento 1, utilizando apenas água, controlador de carga na produção de energia no período de inverno.

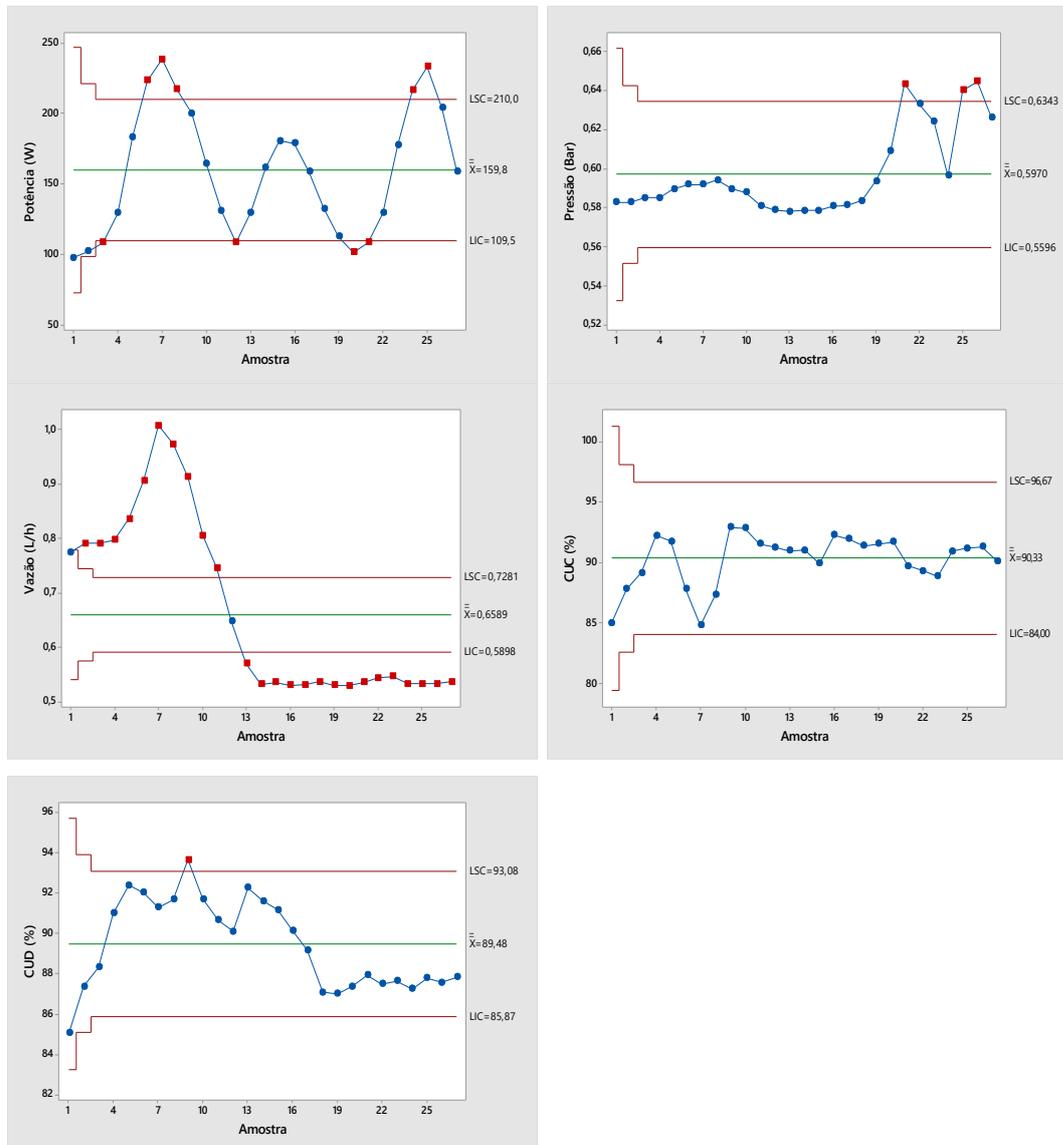


Figura 15 Gráfico de Controle de Shewhart para CUC, CUD, Pressão, Vazão e Potência para o Trat. 1.

Fonte: A autora (2023).

Pode-se observar no gráfico referente à potência do sistema fotovoltaico a variabilidade inerente à variação do valor da irradiância ao longo do dia, em que os picos se referenciam aos horários de pico de produção fotovoltaica, das 11:00 horas às 14:00 horas (PINHO e GALDINO, 2014). Observa-se também que a variável apresentou tanto pontos abaixo quanto acima dos limites, ou seja, não se manteve sob controle estatístico de qualidade.

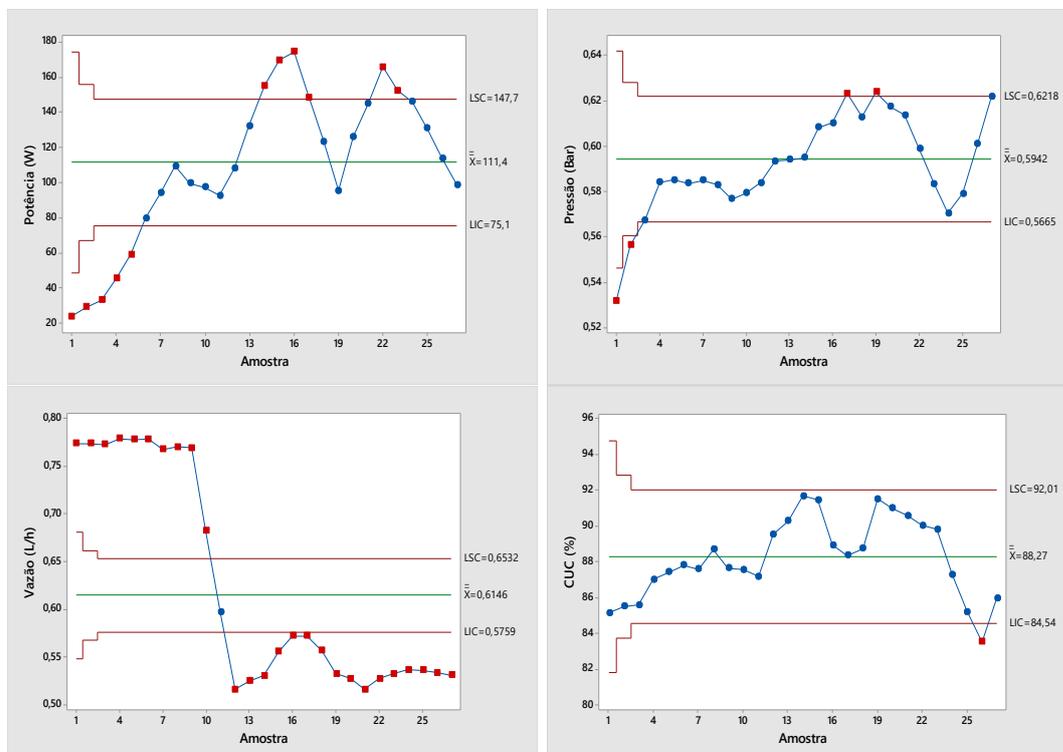
Uma vez que o sistema de energia possui um controlador de carga, esperava-se maior estabilização nas variáveis de pressão e vazão; entretanto, a variabilidade na produção ao longo do dia afetou essas variáveis, por isso, para ambos os parâmetros, foram observados pontos acima e abaixo dos limites bem como tendências negativas.

Quanto ao gráfico de CUC, a variável manteve-se sob controle estatístico de qualidade apesar da alta variabilidade dos demais parâmetros, com o adendo de que alguns pontos se mantiveram abaixo dos 90% de uniformidade, portanto, não estão qualificados como excelentes de acordo com a referência de Frizzone et al. (2012).

No gráfico de CUD, nota-se a presença de um ponto acima do limite superior e, apesar de ser classificado como fora de controle estatístico de qualidade, o ponto não traz aspectos negativos para os resultados, uma vez que quanto maior a uniformidade do sistema de irrigação, melhor é a classificação da mesma.

Nota-se ainda uma similaridade entre o gráfico de CUD e a vazão, pois a diminuição dos valores de vazão segue a mesma tendência de diminuição dos valores de CUD. Este fator ocorre porque o CUD leva em consideração as 25% menores lâminas aplicadas em sua metodologia de cálculo.

A Figura 16 apresenta os gráficos de controle em relação à Potência, à Pressão, à Vazão, ao CUC e ao CUD para o Tratamento 2, com a primeira adição de fertilizante, na concentração de 4 g L^{-1} , controlador de carga na produção de energia no período de inverno.



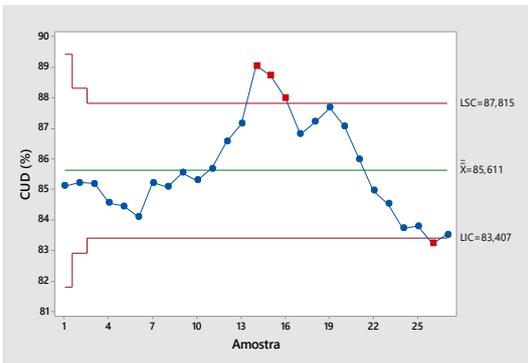


Figura 16 Gráfico de Controle de Shewhart para CUC, CUD, Pressão, Vazão e Potência para o Trat. 2.

Fonte: A autora (2023).

O gráfico de potência não apresentou controle estatístico de qualidade, com pontos acima e abaixo dos limites. Pode-se destacar que entre os ensaios 1 e 5, coletados nos horários das 09:00 horas às 14:00 horas, apesar da subida característica do valor, todos os pontos estão abaixo do limite inferior, e com potência de 62 W no ensaio 5, abaixo da nominal (150 W), o que é característica do horário. A resposta para ocorrência da baixa potência fica por conta da massiva presença de nuvens nos períodos das coletas, cuja tensão e corrente do módulo fotovoltaico diminuem consideravelmente.

Quanto aos gráficos de pressão e vazão, assim como no tratamento 1, a variação da potência afetou negativamente os valores dos parâmetros, quando ambos os gráficos apresentaram pontos abaixo e acima dos limites, ou seja, não se mantiveram sob controle.

Para a uniformidade, analisando em conjunto ambos os gráficos, consideram-se fora do controle estatístico de qualidade tanto CUC quanto CUD. Nota-se também que o ensaio 26 está abaixo do limite inferior em ambos os casos. Além disso, ao serem verificados os dados da coleta, em específico, as motivações de queda do valor de uniformidade ocorreram pela passagem de nuvens ao longo da coleta. Isso alterou os valores de potência do sistema de energia, com valor de 37,2% de coeficiente de variação, mesmo com o controlador de carga. E, por conseguinte, a vazão e a pressão foram afetadas, culminando em uma baixa uniformidade.

Os resultados do gráfico de CUD são condizentes com os encontrados por Mercante et al. (2014) que também concluíram, a partir do gráfico de controle, que os parâmetros estudados estavam fora de controle, devido ao comportamento na forma de sequência em um mesmo lado da linha média.

A Figura 17 apresenta os gráficos de controle em relação à Potência, à Pressão, à Vazão, ao CUC e ao CUD para o Tratamento 3, com a segunda adição de fertilizante, na concentração de 5 g L⁻¹, controlador de carga na produção de energia no período de inverno.

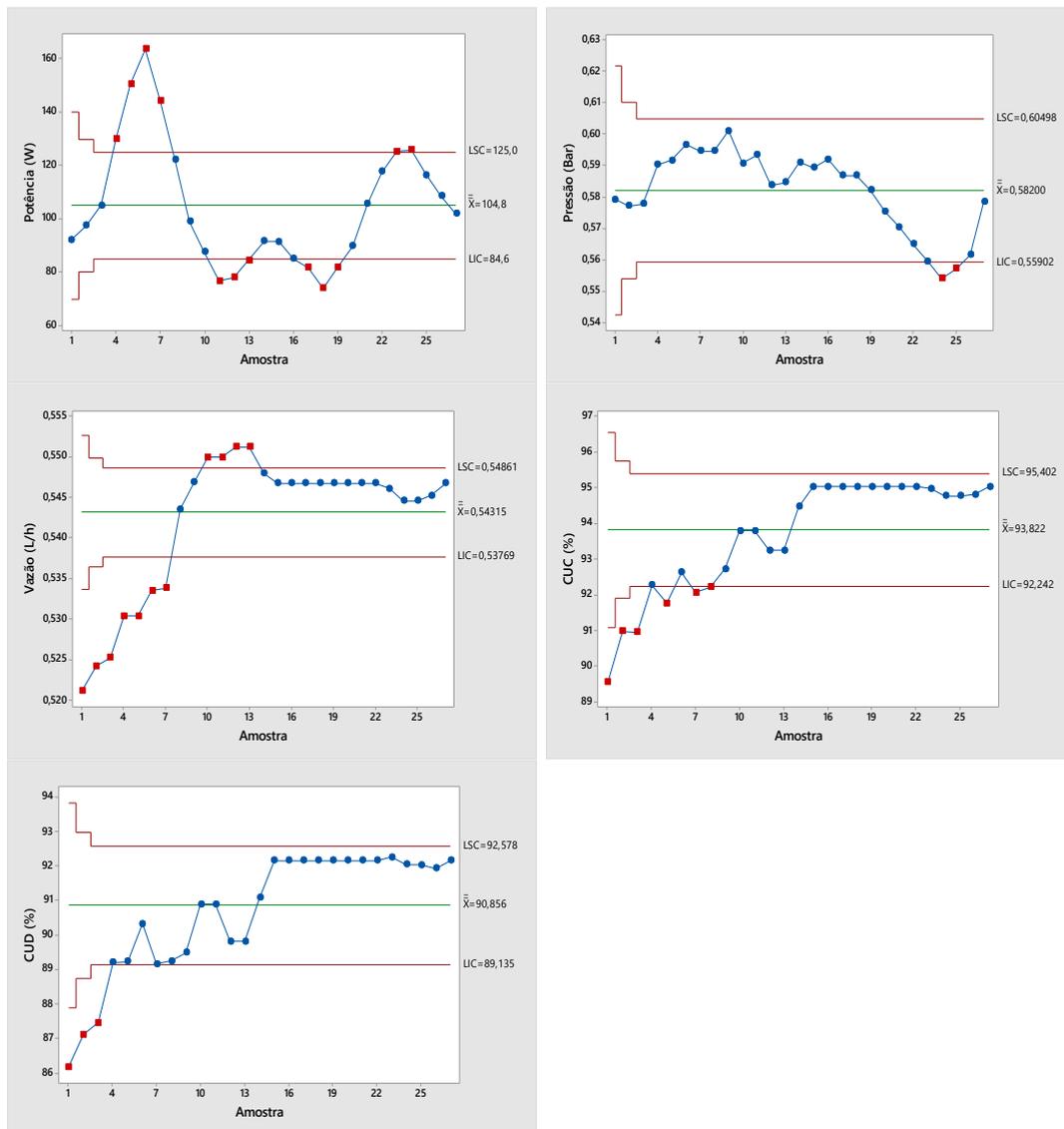


Figura 17 Gráfico de Controle de Shewhart para CUC, CUD, Pressão, Vazão e Potência para o Trat. 3.

Fonte: A autora (2023).

A análise do Gráfico de Shewhart permite inferir que, tanto CUC (%) quanto CUD (%) não apresentaram controle estatístico de qualidade, com pontos abaixo do limite inferior de especificação em simultâneo (1 a 3). Essas amostras também apresentaram baixa vazão, todavia, a pressão manteve-se dentro dos parâmetros nominais. Cabe ressaltar, portanto, que para Zhang et al. (2017), o entupimento de cada emissor pode ter aleatoriedade, além da variação da taxa de fluxo de um emissor que pode não representar totalmente a tabela completa do grau de entupimento do emissor do sistema de irrigação.

Outra característica que se pode destacar referente aos gráficos é que a estabilização da pressão e da vazão foi seguida pelo aumento e estabilização também dos índices de uniformidade. E atrelada a esse apontamento, podemos definir que quando a potência se manteve dentro dos valores nominais, o funcionamento da bomba tornou-se mais estável e gerou maior uniformidade na fertirrigação.

A Figura 18 apresenta os gráficos de controle em relação à Potência, à Pressão, à

Vazão, ao CUC e ao CUD para o Tratamento 4, com adição de fertilizante, na concentração de 6 g L^{-1} , controlador de carga na produção de energia no período de inverno.

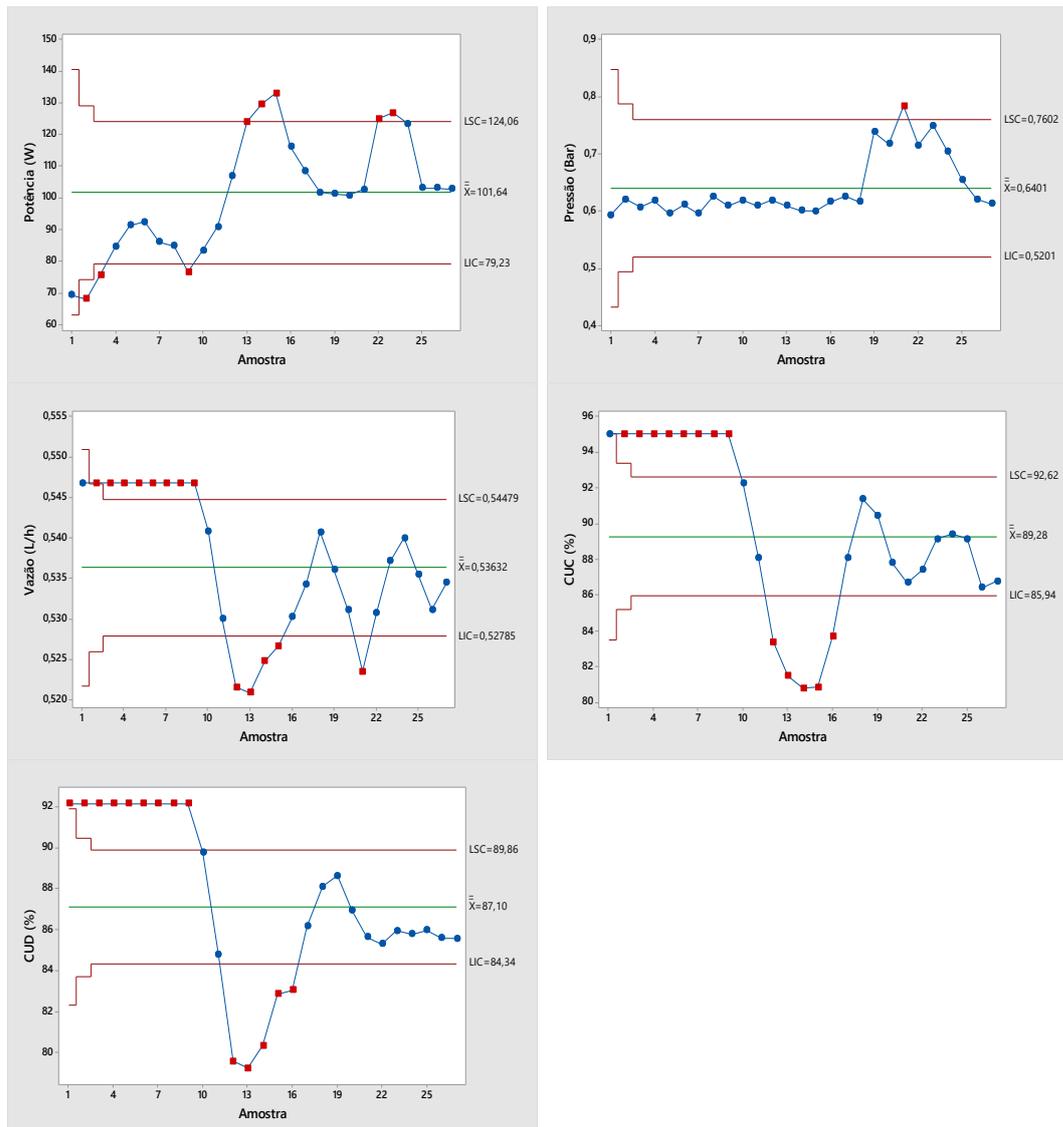


Figura 18 Gráfico de Controle de Shewhart para CUC, CUD, Pressão, Vazão e Potência para o Trat. 4.

Fonte: A autora (2023).

Para o tratamento com o maior valor de concentração de fertilizante (6 g L^{-1}) nenhum parâmetro manteve-se sob controle estatístico. Observou-se, entretanto, que os valores de potência e pressão mantêm-se dentro dos valores nominais, enquanto a vazão apresenta baixos valores, ficando abaixo do valor nominal.

Em conformidade ao exposto, ao serem analisados os gráficos de CUC e CUD, as amostras 13, 14 e 15 apresentaram os menores valores de uniformidade, aproximando-se e até mesmo baixando de 80%. Esse valor, segundo Frizzone et al. (2012), caracteriza o ensaio como uma uniformidade classificada como regular. Portanto, é possível considerar que a baixa uniformidade fica sob a responsabilidade da alta concentração de fertilizante que pode causar o entupimento dos gotejadores.

A Figura 19 apresenta os gráficos de controle em relação à Potência, à Pressão, à Vazão, ao CUC e ao CUD para o Tratamento 5, utilizando apenas água, controlador de carga na produção de energia no período de verão.

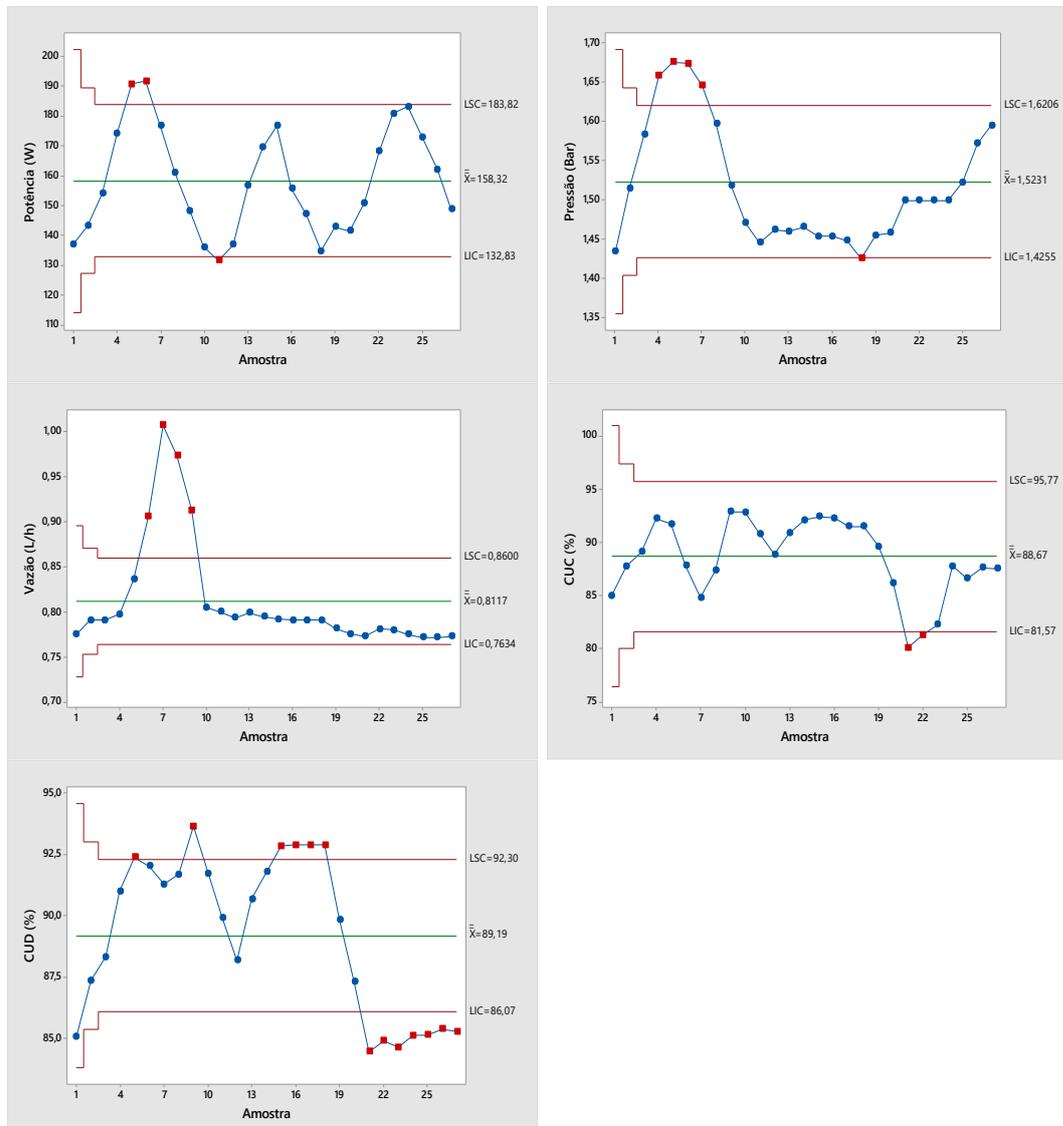


Figura 19 Gráfico de Controle de Shewhart para CUC, CUD, Pressão, Vazão e Potência para o Trat. 5.

Fonte: A autora (2023).

Em relação ao gráfico de potência, é possível observar que o valor médio (158,22 W) aumentou em relação aos tratamentos antecessores, mantendo-se próximo ao valor nominal de funcionamento (150 W), em função de a coleta ter sido realizada no período de verão, quando os valores de irradiação são mais elevados em relação aos valores no inverno.

Quanto aos valores de pressão e vazão, nota-se que os maiores valores condizem com os dois maiores valores de potência do sistema fotovoltaico. Portanto, pode-se apontar que valores acima da nominal de potência, mesmo com o controlador de carga, afetaram tanto o funcionamento da bomba, como a irrigação por gotejamento.

Assim, as nuances apresentadas pela maior produção de energia característica do

período afetaram os valores de uniformidade, tanto de CUC quanto de CUD, uma vez que, em simultâneo, as amostras 21 e 22 mantiveram-se abaixo do limite inferior de controle, com valores entre 80 e 90%, classificados como bom, por Frizzone et al. (2012). Cabe ainda ressaltar que nenhum parâmetro apresentou controle estatístico de qualidade, com pontos tanto acima quanto abaixo dos limites.

A Figura 20 apresenta os gráficos de controle em relação à Potência, à Pressão, à Vazão, ao CUC e ao CUD para o Tratamento 6, utilizando fertirrigação na concentração de 4 g L^{-1} , controlador de carga na produção de energia no período de verão.

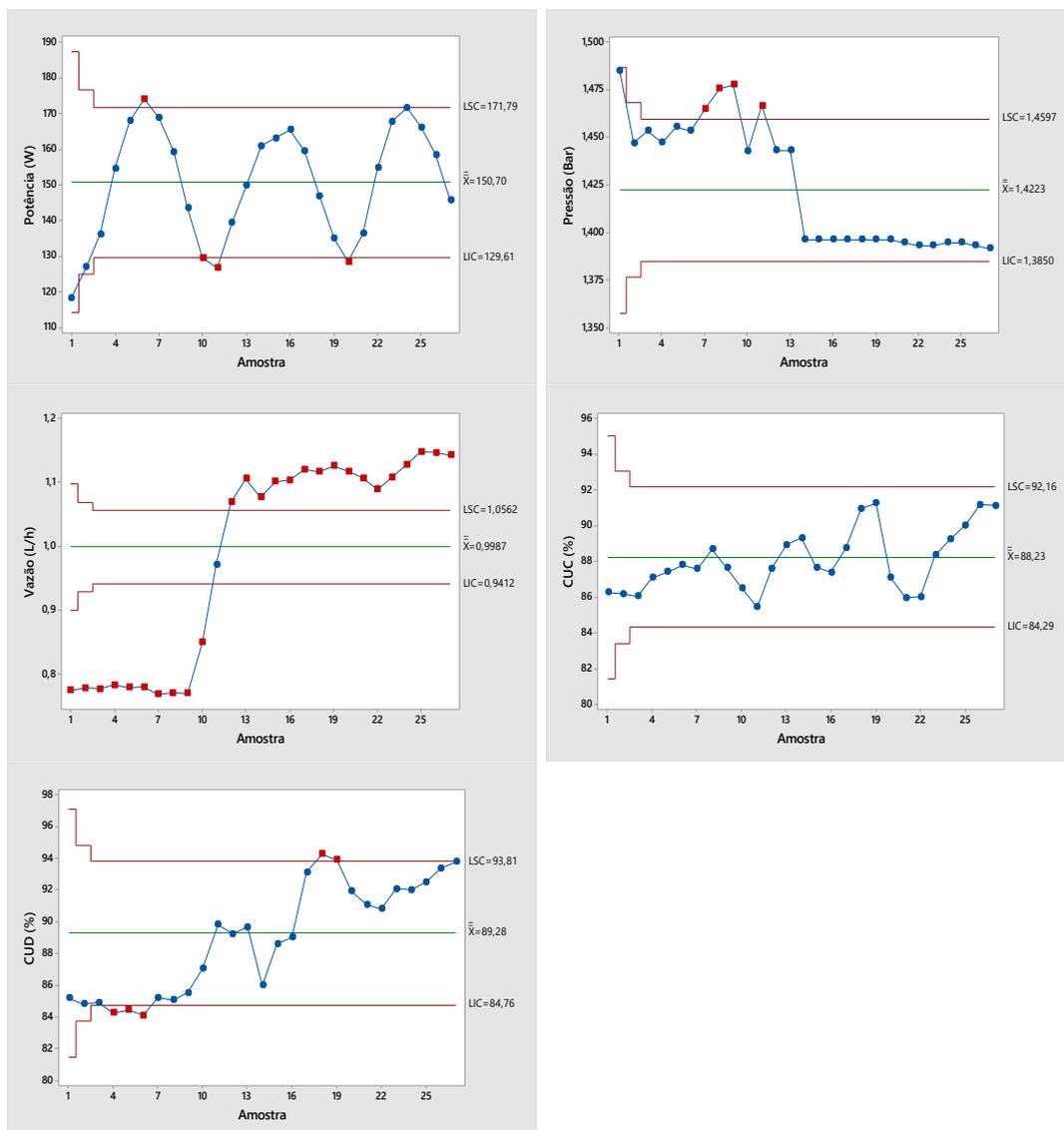


Figura 20 Gráfico de Controle de Shewhart para CUC, CUD, Pressão, Vazão e Potência para o Trat. 6.

Fonte: A autora (2023).

As coletas no período de verão, com a primeira concentração de fertilizante (4 g L^{-1}), apresentaram falta de controle estatístico de qualidade em todos os parâmetros analisados. Destaca-se a estabilização da pressão dos ensaios 14 ao 27. O resultado foi a estabilização conjunta da vazão que, apesar de apresentar todos os pontos acima do controle estatístico,

manteve-se dentro do valor nominal dos gotejadores.

Quanto ao gráfico referente ao CUC, apesar de não apresentar nenhum ponto acima ou abaixo dos limites, os ensaios de 1 a 7 caracterizaram-se com tendência decrescente (MONTGOMERY, 2009), tendência que é acompanhada pelos menores valores de vazão.

Os resultados acima apresentados condizem com os estudos desenvolvidos por Hauptenthal et al. (2021) que, ao avaliarem o desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão com bombeamento fotovoltaico, definiram que os gráficos de controle permitiram reconhecer a existência de alguns padrões, entre eles o falta de a variabilidade na geração de energia interferir na uniformidade do processo de irrigação.

A Figura 21 apresenta os gráficos de controle em relação à Potência, à Pressão, à Vazão, ao CUC e ao CUD para o Tratamento 7, utilizando fertirrigação na concentração de 5g L^{-1} , controlador de carga na produção de energia no período de verão.

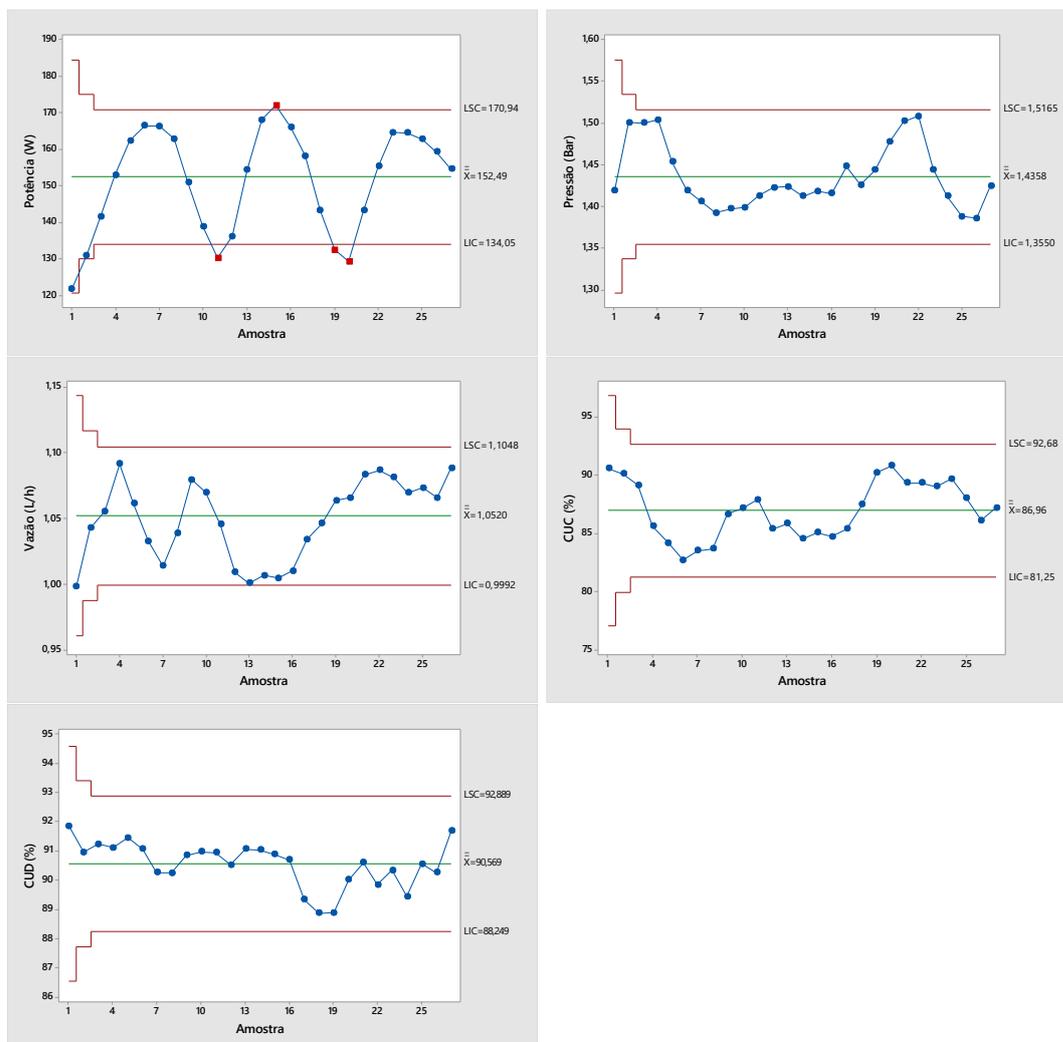


Figura 21 Gráfico de Controle de Shewhart para CUC, CUD, Pressão, Vazão e Potência para o Trat. 7.

Fonte: A autora (2023).

Como é possível observar, os gráficos referentes à potência (pontos acima e abaixo

dos respectivos limites), pressão e vazão (tendência decrescente) não apresentaram controle estatístico de qualidade. Entretanto, apesar da falta de controle, os parâmetros da irrigação mantiveram-se dentro dos limites nominais de funcionamento, resultando em gráficos de uniformidade com controle estatístico de qualidade conjuntamente. O estudo de Juchen et al. (2013) corroborando com esses resultados. Os autores defendem que, ao aplicaram os gráficos de controle na irrigação por gotejamento na cultura da alface, obtiveram resultados sob o controle estatístico de qualidade, para os gráficos de controle propostos.

A Figura 22 apresenta os gráficos de controle em relação à Potência, à Pressão, à Vazão, ao CUC e ao CUD para o Tratamento 8, utilizando fertirrigação na concentração de 6g L^{-1} , controlador de carga na produção de energia no período de verão.

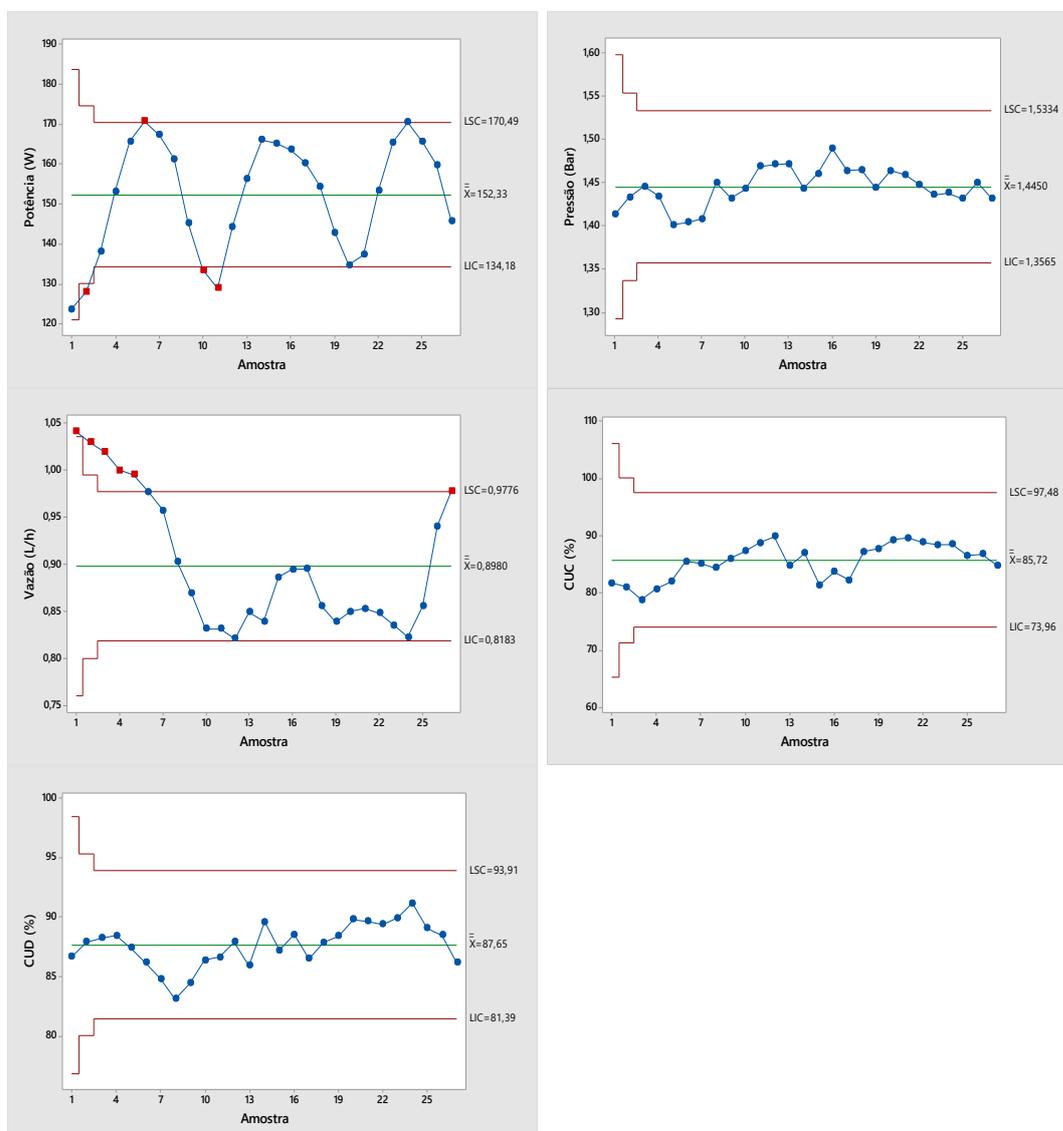


Figura 22 Gráfico de Controle de Shewhart para CUC, CUD, Pressão, Vazão e Potência para o Trat. 8.

Fonte: A autora (2023).

Ao serem analisados os gráficos de controle referentes à uniformidade, tanto CUC quanto CUD não se mantiveram sob controle estatístico por apresentarem tendência

crecente (amostras de 18 a 26 acima da linha média). A falta de controle não tem aplicação negativa, uma vez que quanto maior o valor da uniformidade, melhor a classificação do sistema. Em conformidade ao exposto, pode-se notar que o gráfico de pressão mantém-se sob controle e dentro dos valores nominais. Enquanto os valores de vazão apresentam grande variabilidade, pontos acima da linha média e tendência negativa (amostra 9 a 25), o que culminou nos menores valores médios de CUC e CUD. Portanto, pode-se apontar que o valor de concentração do fertilizante pode interferir na vazão dos gotejadores e diminuir a uniformidade, respectivamente.

Segundo Andrade (2013), ao analisar o uso das ferramentas do controle estatístico de qualidade na análise da uniformidade de um sistema de irrigação por microaspersão através do CUC e o CUD, definiu-se que o gráfico de controle de Shewart foi satisfatório na determinação do melhor tratamento dentre os analisados.

5.6 Cálculo do índice de capacidade do processo

Os índices de capacidade do processo (Cpi) foram calculados com o objetivo de mostrar se a irrigação possui a capacidade para se manter sob controle no processo ao longo do tempo, considerando-se o limite inferior de especificação (LIE) em relação ao CUC, para cada tratamento, mostrados na Tabela 11. Estipulou-se o valor do LIE de 90% como excelente e 80% como bom, a partir da classificação proposta por Frizzone et al. (2012) para a irrigação. Ressalta-se que, segundo Montgomery (2009), o processo só é capaz de se manter sob controle quando o valor de Cpi é maior que 1,25 para processos existentes.

Tabela 11 Índice de Capacidade do Processo (Cpi) para CUD, pressão e vazão.

Trat.	Índice de capacidade do processo			
	CUD		Pressão	Vazão
	90%	80%	0,8 - 1,7 Bar	0,8 - 1,10 L h ⁻¹
T1	0,8	1,6	3,26	1,25
T2	1,13	2,26	3,76	2,24
T3	1,68	3,35	4,18	4,84
T4	1,05	2,09	2,16	1,04
T5	0,93	1,85	2,66	1,79
T6	0,64	1,27	3,52	1,51
T7	1,24	2,49	3,22	1,54
T8	0,46	0,92	2,94	1,09

Fonte: A autora (2023).

Em relação à uniformidade, apenas os Tratamentos 2 e 3 atingiram o mínimo de 1,25, para uniformidade de 90%. Porém, quando a uniformidade foi estabelecida como baixa para o mínimo de 80%, apenas o tratamento 8 não alcançou o mínimo necessário para se manter sob controle ao longo do tempo.

Quanto aos valores de pressão, todos os tratamentos mantiveram-se dentro dos parâmetros de funcionamento ao longo do período de coleta, entretanto, quando adicionada a maior concentração de fertilizante (6g L^{-1}), a vazão de ambos os tratamentos (4 e 8) resultou em um índice de capacidade de processo inferior a 1,25.

Na pesquisa de Justi, Vilas Boas e Sampaio (2010), os autores analisaram a uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação por aspersão e concluíram que o índice de capacidade do processo mostrou-se capaz de diagnosticar se a irrigação tem competência de se manter sob controle e estável, ou seja, se era capaz de manter níveis aceitáveis de uniformidade.

Valores similares foram encontrados por Andrade (2013) em sua pesquisa utilizando microaspersores. Todavia, apenas um tratamento atingiu o valor mínimo de 1,25 - quando o LIC foi de 90%, mas os parâmetros foram satisfeitos quando o LIC foi de 80% em todos os tratamentos apontados em relação ao CUC.

A pesquisa de Silveira et al. (2021) objetivou avaliar os diferentes métodos de um sistema de irrigação por gotejamento em função da utilização de um sistema de bombeamento fotovoltaico amorfo *indoor* e sem armazenamento de energia. Os autores definiram que a instabilidade no bombeamento de água resultou em todos os valores de C_p abaixo de 1,25.

6. CONCLUSÃO

Foi possível concluir que houve aumento na potência no período de verão em relação à energia gerada, uma vez que os valores de irradiação aumentaram devido ao período de coleta. Entretanto, os valores de potência fornecida pelo sistema mantiveram-se instáveis, apesar da utilização do controlador de carga e banco de baterias, principalmente em relação à tensão do sistema.

Os valores de vazão e de pressão aumentaram e mantiveram-se estatisticamente superiores nos tratamentos de 5 a 8. Estes dados são condizentes com a maior produção de energia. Portanto, pode-se definir que o sistema de controlador de carga não executou a estabilização desejada no sistema.

A uniformidade apresentou classificação de excelência nos tratamentos 1 e 3 para CUC e 3 e 7 para CUD. Em contrapartida, os menores valores de uniformidade encontram-se nos tratamentos 4 e 8, onde foi aplicada a maior concentração de fertilizante, portanto, pode-se afirmar que a concentração limite foi 5 g L^{-1} para não diminuir os valores da uniformidade.

O gráfico de controle de Shewhart indicou nos processos que baixos valores de potência resultam em menores valores de pressão e vazão, diminuindo a uniformidade de irrigação por gotejamento. Destaca-se que valores de potência acima da nominal também interferiram negativamente na uniformidade de irrigação e elevaram a pressão acima da nominal.

Apesar da variabilidade da potência, pressão e vazão, o coeficiente de uniformidade de distribuição foi capaz de manter seu valor superior a 90% ao longo do tempo, nos tratamentos 3 e 7, os quais apresentaram concentração de fertilizante de 5 g L^{-1} , ou seja, foram classificados como excelentes.

Conclui-se também que, apesar da utilização de um controlador de carga e banco de baterias, o fornecimento de energia manteve-se instável ao longo do dia. Este fato interferiu no processo de irrigação por gotejamento, todavia, a concentração limite de fertilizante foi de 5 g L^{-1} , a qual obteve os melhores resultados. Cabe ainda destacar que a variabilidade da potência do sistema fotovoltaico, causada pela passagem de nuvens, não foi contornada pelo sistema de controlador de carga, e ocasionou na interferência no bombeamento e, conseqüentemente, na vazão e na pressão do sistema de irrigação por gotejamento.

Não se recomenda, portanto, a utilização do controlador de carga e banco de baterias no sistema fotovoltaico na irrigação por gotejamento autônoma, uma vez que o efeito da inclusão do sistema não obteve a estabilização de corrente e tensão desejadas. Para a fertirrigação, recomenda-se a concentração limite de 5 g L^{-1} , uma vez que se constatou alteração na uniformidade quando ultrapassado esse valor.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O momento atual da agricultura brasileira e mundial exige o uso de tecnologias inovadoras que aumentem a produtividade das culturas, proteja o meio ambiente e faça uso racional dos recursos naturais.

Para atender a essas necessidades, a fertirrigação precisa ser estudada como uma tecnologia de aumento de produtividade, com base em parâmetros que mostrem a racionalização e a sustentabilidade do uso da água. Com a introdução de fontes de energia renováveis, como a fotovoltaica, é possível a produção e o uso de energia em locais remotos. Neste estudo, a ferramenta do gráfico de controle e o índice de capacidade do processo são suficientes para mostrar a variabilidade do processo, diagnosticar mudanças, categorizar os processos de acordo com as especificações e tomar decisões sobre o sistema mais adequado.

A uniformidade apresentou classificação de excelência nos tratamentos 1 e 3 para CUC e 3 e 7 para CUD. Porém, os menores valores de uniformidade encontram-se nos tratamentos 4 e 8, onde foi aplicada a maior concentração de fertilizante, portanto, pode-se afirmar que a concentração limite para não diminuir a uniformidade é de 5 g/L^{-1} .

Apesar de se utilizar controlador de carga e banco de baterias, o fornecimento de energia permaneceu instável ao longo do dia. Isso dificultou o processo de irrigação por gotejamento, pois o limite de concentração de fertilizante de 5 g/L^{-1} apresenta os melhores resultados. Portanto, não é recomendado o uso de controladores de carga e bancos de baterias em sistemas fotovoltaicos em irrigação por gotejamento autônomo, pois o efeito da inclusão do sistema não atinge a estabilização da corrente e tensão desejadas. Os fertilizantes, por outro lado, alteram sua homogeneidade além desse valor, portanto, uma concentração de 5 g/L^{-1} é recomendada como fator limitante.

A carta de controle de Shewhart para este processo mostra que valores de potência menores diminuem a uniformidade da irrigação por gotejamento que resultam em menores valores de pressão e vazão. Deve-se notar que valores de potência acima do nominal aumentam a pressão acima do nominal e afetam negativamente a uniformidade da irrigação.

Por fim, no esforço de racionalizar o uso de água e nutrientes e aumentar a uniformidade de distribuição na irrigação localizada, ocorre ainda a necessidade de mais estudos. Porém, as influências verificadas na pesquisa foram avaliadas e diagnosticadas como se pretendia com o uso de técnicas de controle estatístico de qualidade do processo. O objetivo foi determinar se a energia solar fotovoltaica pode ser utilizada na irrigação, porém, não se recomenda a utilização do controlador de carga e banco de baterias no sistema de fertirrigação fotovoltaico da forma como foram instalados, como sugestão seria o aumento das baterias.

REFERÊNCIAS

ABRÃO, M. E. G. et al. **Dimensionamento econômico para implantação da energia solar fotovoltaica conectada à rede elétrica em uma residência na cidade Ituiutaba-MG.** Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 5, p. 46358-46378, 2021.

ALBUQUERQUE, B. **Energia solar deve responder por 17% da matriz brasileira até 2023.** 2023. Disponível em: < <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-deve-responder-por-17-da-matriz-brasileira-ate-2023/> >. Acesso em: 23 de agosto de 2023.

ALVARENGA, A. C.; FERREIRA, V. H.; FORTES, M. Z. **Energia solar fotovoltaica: uma aplicação na irrigação da agricultura familiar.** Sinergia, São Paulo, v. 15, n. 4, p. 311-318, 2014.

ANDRADE, C.; BRITO, R. A. L. **Métodos de irrigação e quimigação.** Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2006.

ANDRADE, M. G. **Efeito de um sistema de bombeamento de água fotovoltaico na operação de um microaspersor.** 2013. Tese de Doutorado. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Brasil.

ASABE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **ASABE Standard EP405.1:** Uniformity of Water Distribution of Center Pivot and Lateral Move Irrigation Machines. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2017.

BARROS, A. C. et al. **Distribuição da solução no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial.** Irriga, v. 15, n. 4, p. 361-372, 2010.

BOAS, R. C. V. et al. **Viabilidade econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura da cebola.** Ciência e agrotecnologia, v. 35, p. 781-788, 2011.

BOITRAGO, S. A. et al. **Captação de água por sistema fotovoltaico para consumo humano na localidade rural Ilha Caiapós, São Romão, Minas Gerais.** REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v.12, n.2, 2016.

BORGES, A. L.; COELHO, E. F.; TRINDADE, A. V. **Fertirrigação em fruteiras tropicais.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2009.

BORGES, A. L.; SILVA, D. J. **Fertilizantes para fertirrigação.** Embrapa Mandioca e Fruticultura-Capítulo em livro científico (ALICE), 2011.

CARRIJO, O. A. et al. **Fertirrigação de hortaliças.** Embrapa Hortaliças-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2005.

CHANDEL, S. S.; NAIK, M. N.; CHANDEL, R. **Review of performance studies of direct coupled photovoltaic water pumping systems and case study.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. V 76, p. 163 – 175, 2017.

CHANDEL, S. S.; NAIK, M. N.; CHANDEL, R. **Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. V 49, p. 1084 – 1099, 2015.

COSTA, A. F. B.; EPPRESCHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade.** São Paulo: Atlas, 2004.

COSTA, C. C. **Expansão energética brasileira e viabilidade da implementação de geração distribuída baseada em fontes renováveis.** Orientador: Prof. Dr. Fernando Garrafa. 2020. 60 pág. Bacharel – Engenharia Ambiental, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2020. Disponível em: < <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/31683/3/Expans%C3%A3oEnerg%C3%A9ticaBrasileira.pdf> >. Acesso em: 01 de novembro de 2022.

CRUZ, D. M. **Como o agronegócio investe em energias renováveis para reduzir a emissão de poluentes. 2022.** Disponível em: < <https://www.energiaquefalacomvoce.com.br/2022/03/10/como-o-agronegocio-investe-em-energias-renovaveis-para-reduzir-a-emissao-de-poluente/> >. Acesso em: 01 de novembro de 2022.

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, A. B. et al. **Caracterização técnica e desempenho hidráulico de quatro gotejadores autocompensantes utilizados no Brasil.** Ciência rural, v. 45, n. 8, p. 1439-1444, 2015.

DUARTE, G. R. B. **Entenda como a fertirrigação pode aprimorar sua produção.** Aegro, 2020. Disponível em: < <https://blog.aegro.com.br/fertirrigacao/> >. Acesso em: 17 de novembro de 2022.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e Elétrica.** 2020. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica> >. Acesso em: 01 de novembro de 2022.

FADIGAS, E. A. F. A. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos, conversão e viabilidade técnico-econômica.** Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo, p. 32, 2012.

FOSTER, R.; MAJID, G.; COTA, A. **Solar Energy: Renewable Energy and the Environment.** 1ed. CRC Press, 2009.

GADENZ, D.; LA RUE, L. A. **Biodiversidade e saberes tradicionais no contexto da geopolítica ambiental**. Vol. 9, nº 1, p. 290–313. abr. UFSM: Santa Maria, 2014.

GÓES, P. F.; TANIMOTO, A. H. **Tecnologias e parâmetros ambientais para a escolha de uma placa geradora de energia solar fotovoltaica**. Scientia: revista científica multidisciplinar, v. 6, n. 1, p. 34-61, 2021.

GONÇALVES, M.P.; HERMES E.; VILAS BOAS, M. A.; BERGER, J. S.; LINS, M. A.; WULF, V. S. **Uniformidade de aplicação de água e efluente de amidonaria em sistema de irrigação por gotejamento**. Scientia Agraria Paranaensis – SAP, v.12, p.391-399, 2013.

GYASI-AGYEI, Y. **Copula-based daily rainfall disaggregation model**. Water Resources Research, v. 47, n. 7, 2011.

HAUPENTHAL, S. W. **Irrigação por gotejamento fotovoltaico autônomo com rastreador solar**. Orientador: Marcio Antonio Vilas Boas; Coorientador: Jair Antonio Cruz Siqueira. 2022. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – Paraná, 2022.

HERMES, E.; VILAS BOAS, M. A.; RODRIGUES, L. N.; MELO, E. L.; GONÇALVES M. P.; LINS, M. A.; BERGER, J. S. **Process capacity index in drip irrigation with cassava wastewater processing**. African Journal of Agricultural Research, v. 10, p. 1427-1433, 2015.

HINRICHS, R.A.; KLEINBACH, M. **Energia e Meio Ambiente**. Cengage Learning. São Paulo, 2012.

HOFFMANN, F. M.; MOLZ, R. F.; KOTHE, J. V.; NARA, E. O. B.; TEDESCO, L. P.C. **Monthly Profile Analysis Based on a Two-Axis Solar Tracker Proposal For Photovoltaic Panels**. Renewable energy. v. 115, p. 750-759, 2018.

IBERDROLA. **O que é a energia solar fotovoltaica**. 2022. Disponível em: < <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/que-e-energia-solar-fotovoltaica> >. Acesso em: 02 de novembro de 2022.

IEA - Instituto de Economia Agrícola. **Data centres and data transmission networks**. 2021. Disponível em: < <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks> >. Acesso em: 01 de novembro de 2022.

KLAR, A. E. **Critérios para escolha do método de irrigação**. Irriga. v. 5, n. 1, p. 52. 2018.

LEONI, R. C. et al. **Gráficos de controle de Shewhart para o monitoramento de um processo de fixação de vidro automotivo**. 2018.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil**. O estado das águas no Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica. CD-ROM, 1999.

LÓPEZ-LUQUE, R.; RECA, J.; MARTÍNEZ, J. **Optimal design of a standalone direct pumping photovoltaic system for deficit irrigation of olive orchards.** Applied Energy, v. 149, p. 13-23, 2015.

MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; MORETTI, C.L. **Gotejamento: opção para a irrigação do tomateiro para processamento nos Cerrados.** Brasília: Embrapa Hortaliças, 2001. (Folder da Embrapa Hortaliças).

MCCOLLAM, M.E.; FULLMER, F.S. **Appling fertilizers in solution.** Better crop with plant food. V. 32, p.17-263. 1948.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Cenários de Demanda para o PNE 2050.** 2018. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-202/Cen%C3%A1rios%20de%20Demanda.pdf> >. Acesso em: 27 de novembro de 2022.

MITTAL, M. L.; SHARMA, C.; SINGH R. **Estimates of emissions from coal Fired thermal power plants in India.** In: Proceedings of international emission inventory conference. v. 14, p. 1–22, 2012.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control.** 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Statistical Quality Control.** 6. ed. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons, Inc., 2009.

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.

MOSSANDE, A. R. et al. **Riego por goteo con energía solar para el tomate en Cavaco, Benguela, Angola.** Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, v. 24, n. 2, p. 11-17, 2015.

NIEDZIALKOSKI, R. K. **Desempenho de painéis solares mono e policristalinos em um sistema de bombeamento de água.** Brasil. NIEDZIALKOSKI, 2013.

NUNES, D. **Fertirrigação: Vantagens e desvantagens desta técnica.** Multi Técnica. 2018. Disponível em: < <https://multitecnica.com.br/fertirrigacao-vantagens-e-desvantagens-desta-tecnica/> >. Acesso em: 12 de novembro de 2022.

OLIVEIRA FILHO, K.S.; SARAIVA, M.F.O. **Astronomia e Astrofísica.** Livraria da Física, 2004.

OLIVEIRA, E. F. **Gotejadores reguláveis: adaptabilidade na fertirrigação.** Editora Z, 2019.

OLIVEIRA, E. N. C. S.; LIRA, M. A. T.; MORAES, A. M. **Sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água na agricultura familiar piauiense.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7. Anais. Gramado, 2018.

PACHICO, I. W. L.; LEVIEN, S. L. A. **Avaliação de emissores de baixo custo de irrigação localizada submetidos à baixa pressão.** Irriga, v. 1, n. 1, p. 55-61, 2014.

PAES, R. G. **Desempenho de um sistema de irrigação fotovoltaico autônomo e com armazenamento de energia em baterias.** 2019.

PAULINO, M. A. DE O.; FIGUEIREDO, F. P.; FERNANDES, R. C.; SOUZA MAIA, J. T. L.; OLIVEIRA G. D.; BARBOSA, F. S. **Avaliação da uniformidade e eficiência de aplicação de água, em sistemas de irrigação por aspersão convencional.** Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.3, n.2, p.48-54, 2009.

PEDROSO, D. **Irrigação e pulverização.** Jornal Dia de Campo. 2022. Disponível em: <<http://diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=21088&secao=Irriga%E7%E3o%20e%20Pulveriza%E7%E3o>>. Acesso em: 16 de novembro de 2022.

PINTO, J. M.; FEITOSA FILHO, J. C. **Fertirrigação.** Embrapa Semiárido-Documents (INFOTECA-E), 2009.

QUEIROZ, T. M. de et al. **Avaliação de sistema alternativo de automação da irrigação do feijoeiro em casa de vegetação.** Engenharia Agrícola, v. 25, p. 632-641, 2005.

RECA, J. et al. **Feasibility analysis of a standalone direct pumping photovoltaic system for irrigation in Mediterranean greenhouses.** Renewable Energy, v. 85, p. 1143-1154, 2016.

REIS, L. B.; SILVEIRA, S. et al. **Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável: Introdução de uma visão multidisciplinar/Lineu Belico dos Reis, Semida Silveira (orgs.). ed.1. reimpr. -São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.p.44.**

RESENDE, R. S.; RODRIGUES, A. K. M.; AMORIM, J. R. A.; JUNIOR, L. A. J. **Intensidade da intrusão de raízes de cana-de-açúcar em gotejadores sob diferentes manejos da irrigação.** Irriga, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p. 38-46, 2016.

RIBEIRO, J. L. D.; CATEN, C. S. T. **Cartas de Controle para Variáveis, Cartas de Controle para Atributos, Função de Perda Quadrática, Análise de Sistemas de Medição.** Série Monográfica Qualidade-Control Estatístico do Processo. Porto, 2012.

SAAD, J. C. C.; JEFERY, A. P. R. S. **Efeito da espessura da parede no desempenho hidráulico de mangueiras gotejadoras.** Irriga, v. 1, n. 1, p. 139-149, 2015.

SANTORO, Bruno de L. et al. **Monitoramento da distribuição de uma solução no solo via fertirrigação por gotejamento.** Irriga, v. 18, n. 3, p. 572-586, 2013.

SANTOS, C. D. **Gotejadores de vazão constante:** aplicações na agricultura moderna. Editora Y, 2017.

SHEWHART, W. A. **The application of statistics as an aid in maintaining quality of a manufactured product.** Journal of the American Statistical Association, v. 20, n. 152, p. 546–548, 1925.

SILVA, A. B. **Gotejadores autocompensantes:** eficiência na fertirrigação. Editora X, 2018.

SILVA, D. J.; FEITOSA FILHO, J. C. **Fertirrigação para iniciantes.** In: Congresso Brasileiro de Fertirrigação. Mostra de equipamentos e produtos utilizados na irrigação e fertirrigação. 2003. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2003.

SILVA, D. J.; SOARES, J. M. **Fertirrigação.** Embrapa Semiárido-Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E), 2009.

SILVA, P. F.; MATOS, R. M.; LIMA, S. C.; DANTAS NETO, J.; LIMA, V. L. A. **Controle estatístico e índice de capacidade do processo em emissores autocompensante utilizando água salina.** Journal of Agronomic Sciences, local, v. 4, n. 1, p. 139-150, mês, 2015.

SILVA, R. P.; SOUZA, F. G.; CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A.; VIGNA, G. P. **Variabilidade espacial e controle estatístico do processo de perdas na colheita mecanizada do algodoeiro.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p.742-752, 2007.

SILVA, S. 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.

SILVA, WASHINGTON LC et al. **Fontes e doses de nitrogênio na fertirrigação por gotejamento do tomateiro.** In: Workshop Tomate na UNICAMP: Perspectivas e Pesquisas. 2003.

SOUZA, V.F.; COELHO, E.F. **Manejo de fertirrigação em fruteiras.** In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F.F.; BRASIL, R.P.C.; RESENDE, R.S. (Coord.) Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças, Guaíba: Agropecuária, 2001, p.289-317.

SZEKUT, F. D. et al. **Índice de capacidade de processo na irrigação por gotejamento destinado à agricultura familiar.** In: II Brazilian Symposium on Salinity & II Brazilian Meeting on Irrigation. 2014.

VALER, L. R. et al. **Variable-speed drives in photovoltaic pumping system for irrigation in Brazil**. Sustainable Energy Technologies and Assessments, v.15, p. 20-26, 2016.

VANDRESEN, Y. TOPTEN. **O potencial brasileiro para a energia solar fotovoltaica**. 2020. Disponível em: < <https://topten.eco.br/private/article/o-potencial-brasileiro-para-energia-solar-fotovoltaica> >. Acesso em: 02 de novembro de 2022.

VARGAS, V. C. C.; LOPES, L.F. D SOUZA, A. M. **Comparative study of the performance of the CuSum and EWMA control charts**. Computers; Industrial Engineering, Los Angeles, USA, v. 46, n. 4, p. 707-724, 2004.

VIEIRA, L.; PICULLI, F. J. **Meteorologia e climatologia agrícola**. Cidade Gaúcha–Pr: Universidade Estadual de Maringá, 2009.

VILAS BOAS, M. A. **Fundamentos de irrigação localizada**. 1. ed. Cascavel: Edunioeste, 2016.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1.ed. São Paulo: Érica, 2012. p.18.

VILLAS BÔAS, R.L.; OLIVEIRA, M.V.M.; MOTA, P.R.A; BETTINI, M.O. **Fertirrigação no Brasil, técnica inovadora nos cultivos irrigados**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FERTIRRIGAÇÃO, João Pessoa: UFPB/CCA, 2003.

WALKER, E. **Estudo da viabilidade econômica na utilização de biomassa como fonte de energia renovável na produção de biogás em propriedades rurais**. Orientador: Professor Dr. Gideon Villar Leandro. 2009. 107 pág. Mestre - Modelagem Matemática, Departamento de Física, Estatística e Matemática, UNIJU, Ijuí. 2009. Disponível em: < <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/220/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20Eliana%20Walker.pdf?sequence=1&isAllowed=y> >. Acesso em: 01 de novembro de 2022.

ZAGO, E.A. **Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento utilizando energia fotovoltaica**. Dissertação. Energia na Agricultura. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.

ZILLI, B. M. **Sistema autônomo de bombeamento de água acionado por painéis fotovoltaicos amorfo e policristalino**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2018.

ZOCOLER, J. L.; RIBEIRO, P. H. P.; SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L. **Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento com aplicação de água salina**. Irriga, Botucatu, Edição especial, 20 anos + 50 anos FCA. p.234-247, 2015.

APÊNDICE

Ensaio	Gotejamento em nível - Sistema fotovoltaico sem bateria, 0g/L fertilizante fixo - Inverno			
1	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.83	0.75	0.88	0.78
	0.94	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.83	0.70	0.65
	0.82	0.67	0.71	0.70
2	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.84	0.75	0.88	0.79
	0.82	0.74	0.94	0.80
	0.90	0.78	0.70	0.82
	0.82	0.79	0.83	0.70
3	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.82	0.75	0.88	0.79
	0.80	0.74	0.92	0.78
	0.86	0.78	0.70	0.77
	0.79	0.78	0.83	0.67
4	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.78	0.75	0.88	0.79
	0.80	0.74	0.88	0.78
	0.86	0.78	0.70	0.77
	0.78	0.78	0.83	0.79
5	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.85	0.86	0.93	0.90
	0.93	0.98	0.94	0.96
	0.93	0.90	0.93	1.02
	0.89	0.93	0.95	0.85
6	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	1.10	0.93	1.20	0.97
	0.94	0.89	0.91	0.87
	0.94	0.90	0.91	0.92
	1.03	1.22	0.97	1.32
7	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	1.16	0.99	1.03	1.14
	1.14	1.01	1.05	1.04
	1.08	1.03	1.01	1.05
	0.98	1.59	1.22	1.03

8	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.82	0.83	0.78	0.84
	0.89	0.79	0.84	0.82
	0.82	0.76	0.78	0.81
	0.84	0.89	0.81	0.80
9	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.82	0.83	0.78	0.84
	0.89	0.79	0.84	0.82
	0.82	0.76	0.78	0.81
	0.84	0.89	0.81	0.80
10	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.83	0.75	0.88	0.78
	0.94	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.83	0.70	0.65
	0.82	0.67	0.71	0.70
11	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.67	0.61	0.69	0.60
	0.56	0.63	0.70	0.65
	0.71	0.67	0.65	0.64
	0.61	0.65	0.60	0.64
12	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.53	0.49	0.56	0.47
	0.55	0.52	0.54	0.52
	0.53	0.54	0.51	0.53
	0.52	0.53	0.49	0.55
13	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.65	0.51	0.62	0.47
	0.57	0.55	0.56	0.51
	0.50	0.51	0.50	0.56
	0.52	0.54	0.52	0.58
14	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.55	0.48	0.58	0.46
	0.56	0.53	0.54	0.53
	0.55	0.55	0.53	0.53
	0.52	0.58	0.54	0.44
15	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.57	0.50	0.59	0.46
	0.57	0.55	0.55	0.52

	0.54	0.54	0.53	0.53
	0.51	0.53	0.56	0.49
16	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.48	0.58	0.45
	0.57	0.52	0.53	0.53
	0.55	0.55	0.50	0.54
	0.43	0.53	0.52	0.56
17	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.55	0.49	0.58	0.44
	0.57	0.55	0.55	0.54
	0.59	0.55	0.50	0.54
	0.42	0.53	0.54	0.55
18	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.57	0.49	0.59	0.45
	0.62	0.54	0.56	0.54
	0.61	0.56	0.50	0.56
	0.45	0.59	0.59	0.60
19	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.53	0.45	0.55	0.40
	0.53	0.49	0.54	0.53
	0.52	0.50	0.50	0.50
	0.45	0.53	0.52	0.59
20	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.54	0.46	0.57	0.57
	0.42	0.55	0.55	0.55
	0.54	0.52	0.55	0.51
	0.46	0.53	0.53	0.60
21	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.63	0.56	0.66	0.51
	0.64	0.62	0.63	0.64
	0.52	0.55	0.51	0.50
	0.47	0.54	0.53	0.61
22	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.48	0.59	0.42
	0.56	0.53	0.55	0.56
	0.52	0.57	0.46	0.52
	0.53	0.58	0.58	0.49
23	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4

	0.56	0.48	0.58	0.44
	0.57	0.55	0.56	0.57
	0.55	0.52	0.51	0.53
	0.53	0.54	0.63	0.47
24	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.55	0.47	0.58	0.42
	0.56	0.53	0.55	0.56
	0.61	0.52	0.54	0.53
	0.46	0.47	0.57	0.55
25	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.47	0.57	0.42
	0.56	0.54	0.54	0.56
	0.54	0.51	0.51	0.54
	0.52	0.53	0.63	0.48
26	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.47	0.58	0.43
	0.56	0.54	0.55	0.56
	0.54	0.54	0.51	0.51
	0.62	0.48	0.55	0.59
27	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.48	0.57	0.60	0.44
	0.58	0.55	0.56	0.58
	0.54	0.48	0.49	0.54
	0.60	0.51	0.60	0.56
Ensaio	Gotejamento em nível - Sistema fotovoltaico sem bateria, 4g/L fertilizante fixo - Inverno			
1	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.83	0.75	0.88	0.78
	0.94	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.83	0.70	0.65
	0.82	0.67	0.71	0.70
2	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.83	0.75	0.76	0.78
	0.94	0.62	0.94	0.77
	0.78	0.83	0.82	0.65
	0.82	0.67	0.71	0.70
3	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.82	0.75	0.88	0.78
	0.94	0.62	0.94	0.77
	0.78	0.83	0.70	0.65

	0.82	0.67	0.69	0.70
4	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.78	0.75	0.88	0.78
	0.90	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.83	0.70	0.65
	0.82	0.67	0.83	0.94
5	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.81	0.75	0.88	0.78
	0.92	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.83	0.70	0.65
	0.82	0.66	0.71	0.70
6	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.81	0.79	0.88	0.78
	0.94	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.83	0.66	0.65
	0.82	0.67	0.71	0.70
7	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.78	0.75	0.87	0.78
	0.88	0.62	0.93	0.78
	0.78	0.71	0.71	0.63
	0.82	0.67	0.71	0.70
8	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.78	0.75	0.88	0.78
	0.94	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.83	0.70	0.65
	0.82	0.67	0.83	0.70
9	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.84	0.75	0.88	0.78
	0.91	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.78	0.70	0.65
	0.82	0.67	0.71	0.70
10	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.53	0.47	0.56	0.40
	0.55	0.52	0.51	0.51
	0.45	0.51	0.48	0.43
	0.53	0.58	0.53	0.44
11	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.55	0.48	0.57	0.42

	0.56	0.55	0.53	0.53
	0.46	0.52	0.55	0.44
	0.55	0.60	0.55	0.46
12	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.49	0.58	0.42
	0.57	0.55	0.53	0.54
	0.52	0.51	0.52	0.54
	0.53	0.53	0.44	0.60
13	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.49	0.59	0.42
	0.58	0.55	0.54	0.54
	0.53	0.46	0.57	0.52
	0.47	0.52	0.53	0.54
14	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.49	0.59	0.54
	0.57	0.55	0.55	0.54
	0.54	0.47	0.59	0.53
	0.48	0.53	0.54	0.54
15	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.64	0.56	0.67	0.50
	0.66	0.64	0.62	0.62
	0.60	0.59	0.63	0.63
	0.63	0.62	0.60	0.45
16	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.65	0.58	0.68	0.50
	0.66	0.64	0.63	0.63
	0.51	0.50	0.55	0.54
	0.54	0.54	0.60	0.45
17	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.49	0.59	0.44
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60
18	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.58	0.50	0.61	0.48
	0.60	0.58	0.56	0.57
	0.53	0.52	0.58	0.56
	0.56	0.59	0.62	0.47
19	L / h			

	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.52	0.44	0.55	0.43
	0.55	0.53	0.52	0.52
	0.48	0.45	0.52	0.51
	0.50	0.52	0.56	0.42
20	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.55	0.46	0.58	0.45
	0.56	0.53	0.54	0.53
	0.55	0.53	0.52	0.46
	0.52	0.55	0.58	0.43
21	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.55	0.46	0.58	0.45
	0.57	0.54	0.54	0.53
	0.54	0.44	0.54	0.53
	0.53	0.55	0.58	0.43
22	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.47	0.67	0.45
	0.61	0.56	0.55	0.54
	0.54	0.53	0.55	0.44
	0.53	0.55	0.59	0.44
23	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.57	0.47	0.45	0.63
	0.60	0.56	0.55	0.54
	0.55	0.53	0.56	0.46
	0.54	0.56	0.59	0.44
24	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.44	0.60	0.47	0.57
	0.63	0.61	0.63	0.54
	0.53	0.52	0.53	0.42
	0.52	0.54	0.57	0.43
25	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.44	0.59	0.57	0.48
	0.59	0.56	0.55	0.55
	0.56	0.44	0.55	0.54
	0.54	0.55	0.60	0.45
26	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.61	0.47	0.60	0.43
	0.59	0.56	0.56	0.54
	0.54	0.43	0.55	0.54

	0.52	0.54	0.59	0.43
27	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.55	0.47	0.59	0.43
	0.58	0.55	0.55	0.54
	0.55	0.43	0.55	0.54
	0.59	0.44	0.53	0.55
Ensaio	Gotejamento em nível - Sistema fotovoltaico sem bateria, 5g/L fertilizante fixo - Inverno			
1	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.55	0.48	0.57	0.42
	0.56	0.55	0.53	0.53
	0.46	0.52	0.55	0.44
	0.55	0.60	0.55	0.47
2	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.54	0.46	0.57	0.57
	0.42	0.55	0.55	0.55
	0.54	0.52	0.55	0.51
	0.46	0.53	0.53	0.60
3	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.49	0.58	0.42
	0.57	0.55	0.53	0.54
	0.52	0.51	0.52	0.54
	0.53	0.53	0.44	0.60
4	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.49	0.59	0.54
	0.57	0.55	0.55	0.54
	0.54	0.47	0.59	0.53
	0.48	0.53	0.54	0.54
5	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.49	0.58	0.42
	0.57	0.55	0.53	0.54
	0.52	0.51	0.52	0.54
	0.53	0.53	0.44	0.60
6	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.49	0.59	0.54
	0.57	0.55	0.55	0.54
	0.54	0.47	0.59	0.53
	0.48	0.53	0.54	0.54
7	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4

	0.56	0.49	0.59	0.44
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60
8	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.58	0.50	0.61	0.48
	0.60	0.58	0.56	0.57
	0.53	0.52	0.58	0.56
	0.56	0.59	0.62	0.47
9	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60
10	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60
11	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.58	0.50	0.61	0.48
	0.60	0.58	0.56	0.57
	0.53	0.52	0.58	0.56
	0.56	0.59	0.62	0.47
12	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.55	0.50	0.61	0.48
	0.57	0.56	0.56	0.57
	0.51	0.52	0.58	0.56
	0.56	0.59	0.62	0.47
13	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60
14	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60

15	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60
16	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60
17	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60
18	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60
19	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60
20	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60
21	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60
22	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54

	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60
23	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.54	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.55	0.46	0.60
24	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.55	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.51
	0.54	0.57	0.46	0.60
25	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60
26	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60
27	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60
Ensaio	Gotejamento em nível - Sistema fotovoltaico sem bateria, 6g/L fertilizante fixo - Inverno			
1	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60
2	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60
3	L / h			

	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60
4	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60
5	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60
6	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60

7	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60

8	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56
	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60

9	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.56	0.56	0.56	0.56

	0.59	0.56	0.54	0.54
	0.52	0.50	0.56	0.54
	0.54	0.57	0.46	0.60

10	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.58	0.49	0.57	0.43
	0.58	0.56	0.51	0.59
	0.51	0.46	0.46	0.55
	0.56	0.62	0.55	0.44

11	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.58	0.45	0.60	0.41
	0.57	0.54	0.55	0.52
	0.54	0.55	0.32	0.53
	0.53	0.55	0.58	0.40

12	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.60	0.46	0.60	0.42
	0.58	0.55	0.56	0.54
	0.55	0.31	0.54	0.55
	0.53	0.56	0.58	0.40

13	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.40	0.59	0.46	0.56
	0.58	0.54	0.56	0.53
	0.53	0.54	0.54	0.58
	0.51	0.54	0.57	0.40

14	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.41	0.60	0.41	0.46
	0.57	0.58	0.54	0.53
	0.54	0.55	0.54	0.60

	0.53	0.56	0.58	0.41
--	------	------	------	------

15	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.58	0.45	0.60	0.41
	0.57	0.54	0.55	0.52
	0.54	0.55	0.32	0.53
	0.53	0.55	0.58	0.40

16	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.40	0.59	0.46	0.56
	0.58	0.54	0.56	0.53
	0.53	0.54	0.54	0.58
	0.51	0.54	0.57	0.40

17	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.57	0.46	0.60	0.41
	0.58	0.54	0.56	0.53
	0.55	0.59	0.55	0.55
	0.53	0.56	0.60	0.41

18	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.60	0.46	0.60	0.42
	0.58	0.55	0.56	0.54
	0.55	0.31	0.54	0.55
	0.53	0.56	0.58	0.40

19	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.40	0.59	0.46	0.56
	0.58	0.54	0.56	0.53
	0.53	0.54	0.54	0.58
	0.51	0.54	0.57	0.40

20	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.41	0.60	0.41	0.46
	0.57	0.58	0.54	0.53
	0.54	0.55	0.54	0.60
	0.53	0.56	0.58	0.41

21	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.40	0.59	0.46	0.56
	0.58	0.54	0.56	0.53
	0.53	0.54	0.54	0.58
	0.51	0.54	0.57	0.40

22	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.57	0.46	0.60	0.41
	0.58	0.54	0.56	0.53
	0.55	0.59	0.55	0.55
	0.53	0.56	0.60	0.41

23	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.54	0.46	0.60	0.44
	0.58	0.55	0.57	0.54
	0.58	0.52	0.54	0.60
	0.51	0.52	0.54	0.52

24	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.58	0.47	0.61	0.46
	0.59	0.55	0.57	0.54
	0.54	0.60	0.58	0.52
	0.51	0.52	0.53	0.54

25	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4

	0.58	0.54	0.61	0.52
	0.57	0.49	0.54	0.57
	0.43	0.50	0.52	0.42
	0.54	0.56	0.53	0.47

26	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.54	0.46	0.60	0.44
	0.58	0.55	0.57	0.54
	0.58	0.52	0.54	0.60
	0.51	0.52	0.54	0.52

27	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.58	0.47	0.61	0.46
	0.59	0.55	0.57	0.54
	0.54	0.60	0.58	0.52
	0.51	0.52	0.53	0.54

Ensaio	Gotejamento em nível - Sistema fotovoltaico sem bateria, 0g/L fertilizante fixo - verão			
1	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.83	0.75	0.88	0.78
	0.94	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.83	0.70	0.65
	0.82	0.67	0.71	0.70

2	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.84	0.75	0.88	0.79
	0.82	0.74	0.94	0.80
	0.90	0.78	0.70	0.82
	0.82	0.79	0.83	0.70

3	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4

	0.82	0.75	0.88	0.79
	0.80	0.74	0.92	0.78
	0.86	0.78	0.70	0.77
	0.79	0.78	0.83	0.67

4	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.78	0.75	0.88	0.79
	0.80	0.74	0.88	0.78
	0.86	0.78	0.70	0.77
	0.78	0.78	0.83	0.79

5	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.85	0.86	0.93	0.90
	0.93	0.98	0.94	0.96
	0.93	0.90	0.93	1.02
	0.89	0.93	0.95	0.85

6	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	1.10	0.93	1.20	0.97
	0.94	0.89	0.91	0.87
	0.94	0.90	0.91	0.92
	1.03	1.22	0.97	1.32

7	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	1.16	0.99	1.03	1.14
	1.14	1.01	1.05	1.04
	1.08	1.03	1.01	1.05
	0.98	1.59	1.22	1.03

8	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.82	0.83	0.78	0.84
	0.89	0.79	0.84	0.82

	0.82	0.76	0.78	0.81
	0.84	0.89	0.81	0.80

9	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.82	0.83	0.78	0.84
	0.89	0.79	0.84	0.82
	0.82	0.76	0.78	0.81
	0.84	0.89	0.81	0.80

10	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.83	0.75	0.88	0.78
	0.92	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.83	0.70	0.65
	0.82	0.67	0.71	0.70

11	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.83	0.87	0.88	0.79
	0.80	0.74	0.92	0.78
	0.86	0.78	0.70	0.77
	0.79	0.78	0.83	0.67

12	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.75	0.75	0.88	0.79
	0.80	0.74	0.88	0.78
	0.86	0.78	0.70	0.77
	0.77	0.78	0.84	0.79
13	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.78	0.75	0.88	0.79
	0.80	0.74	0.88	0.78
	0.86	0.78	0.70	0.77

	0.76	0.78	0.83	0.79
14	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.76	0.75	0.88	0.79
	0.80	0.74	0.88	0.78
	0.86	0.78	0.70	0.77
	0.77	0.78	0.83	0.79
15	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.75	0.75	0.88	0.80
	0.80	0.74	0.89	0.76
	0.86	0.78	0.69	0.75
	0.77	0.84	0.75	0.81
16	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.76	0.75	0.88	0.79
	0.80	0.74	0.88	0.78
	0.86	0.78	0.70	0.77
	0.77	0.78	0.83	0.79
17	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.76	0.75	0.88	0.79
	0.80	0.74	0.88	0.78
	0.86	0.78	0.70	0.77
	0.77	0.78	0.83	0.79
18	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.76	0.75	0.88	0.79
	0.80	0.74	0.88	0.78
	0.86	0.78	0.70	0.77
	0.77	0.78	0.83	0.79
19	L / h			

	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.82	0.76	0.90	0.76
	0.91	0.62	0.94	0.76
	0.78	0.76	0.71	0.63
	0.82	0.62	0.71	0.67
20	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.86	0.75	0.88	0.75
	0.94	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.82	0.70	0.65
	0.82	0.67	0.71	0.70
21	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.95	0.75	0.88	0.78
	0.94	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.83	0.70	0.65
	0.82	0.68	0.71	0.70
22	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.78	0.75	0.88	0.78
	0.94	0.64	0.94	0.78
	0.75	0.81	0.70	0.65
	1.06	0.68	0.71	0.70
23	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.83	0.75	0.88	0.78
	0.94	0.64	0.94	0.78
	0.78	0.83	0.70	0.62
	0.82	0.68	0.67	0.70
24	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4

	0.77	0.75	0.88	0.78
	0.88	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.83	0.70	0.65
	0.83	0.67	0.71	0.70
25	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.83	0.75	0.88	0.78
	0.94	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.83	0.70	0.65
	0.82	0.67	0.71	0.70
26	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.80	0.75	0.88	0.78
	0.94	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.83	0.70	0.65
	0.82	0.67	0.71	0.70
27	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.77	0.75	0.88	0.78
	0.94	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.83	0.70	0.65
	0.82	0.67	0.71	0.70
Ensaio	Gotejamento em nível - Sistema fotovoltaico sem bateria, 4g/L fertilizante fixo - verão			
1	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.82	0.75	0.88	0.78
	0.94	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.83	0.70	0.65
	0.82	0.67	0.71	0.70
2	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4

	0.83	0.75	0.88	0.78
	0.94	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.83	0.82	0.65
	0.82	0.67	0.71	0.70
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
3	0.82	0.75	0.88	0.78
	0.94	0.62	0.94	0.77
	0.78	0.83	0.70	0.65
	0.82	0.67	0.69	0.70
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
4	0.78	0.75	0.88	0.78
	0.90	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.83	0.70	0.65
	0.82	0.67	0.83	0.94
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
5	0.81	0.75	0.88	0.78
	0.92	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.83	0.70	0.65
	0.82	0.66	0.71	0.70
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
6	0.81	0.79	0.88	0.78
	0.94	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.83	0.66	0.65
	0.82	0.67	0.71	0.70
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
7	0.78	0.75	0.87	0.78
	0.88	0.62	0.93	0.78

	0.78	0.71	0.71	0.63
	0.82	0.67	0.71	0.70
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
8	0.78	0.75	0.88	0.78
	0.94	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.83	0.70	0.65
	0.82	0.67	0.83	0.70
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
9	0.84	0.75	0.88	0.78
	0.91	0.62	0.94	0.78
	0.78	0.78	0.70	0.65
	0.82	0.67	0.71	0.70
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
10	0.92	0.88	1.10	1.10
	1.13	1.09	1.07	1.12
	0.95	0.95	0.99	0.91
	0.94	0.91	0.93	0.95
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
11	1.07	1.06	1.16	1.06
	1.15	1.08	1.10	1.09
	1.37	1.15	1.18	1.19
	1.33	1.16	1.12	1.12
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
12	1.06	1.04	1.16	1.06
	0.91	1.08	1.12	1.03
	1.27	1.12	1.06	0.95
	1.32	1.14	0.94	0.76

13	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	1.04	1.07	1.16	1.05
	1.15	1.08	1.10	0.97
	1.20	1.03	1.18	1.14
	1.18	1.16	1.12	1.08
14	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	1.04	1.06	1.04	0.82
	1.11	1.08	0.86	0.85
	1.24	1.11	0.94	1.31
	1.18	1.19	1.00	1.12
15	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	1.04	0.99	1.16	1.06
	1.13	1.08	1.10	1.09
	1.37	1.15	1.18	1.19
	1.29	1.16	1.12	1.12
16	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	1.03	1.00	1.16	1.06
	1.15	1.08	1.10	1.09
	1.20	1.15	1.14	1.19
	1.09	1.16	1.12	1.12
17	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	1.06	1.03	1.12	1.06
	1.16	1.03	1.13	1.11
	1.16	1.11	1.14	1.14
	1.18	1.10	1.08	1.13
18	L / h			

	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	1.08	1.07	1.16	1.06
	1.14	1.07	1.10	1.09
	1.19	1.15	1.12	1.19
	1.17	1.16	1.12	1.18
	L / h			
19	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	1.08	1.02	1.19	1.06
	1.15	1.06	1.10	1.09
	1.36	1.15	1.17	1.21
	1.20	1.17	1.12	1.12
	L / h			
20	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.95	1.04	1.16	1.07
	0.96	1.02	0.98	1.09
	1.18	1.17	0.94	1.20
	1.20	1.16	1.12	1.12
	L / h			
21	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	1.02	0.98	1.11	1.06
	1.11	1.01	1.13	1.10
	1.14	1.18	1.15	1.12
	1.04	1.14	1.11	1.14
	L / h			
22	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	1.03	1.02	1.04	1.06
	1.13	1.07	0.98	1.10
	1.12	1.15	0.95	1.18
	1.18	1.16	1.12	1.12
	L / h			
23	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4

	1.07	1.06	1.16	1.07
	1.15	1.05	1.13	1.10
	1.37	1.03	1.14	1.10
	1.33	1.28	1.11	1.12
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
24	1.19	1.04	1.16	1.06
	1.13	1.08	1.10	1.09
	1.35	1.18	1.19	1.19
	1.35	1.16	1.13	1.12
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
25	1.19	1.06	1.16	1.06
	1.15	1.08	1.10	1.09
	1.38	1.15	1.18	1.19
	1.21	1.16	1.12	1.12
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
26	1.20	1.07	1.14	1.08
	1.15	1.07	1.11	1.09
	1.08	1.15	1.19	1.16
	1.19	1.16	1.17	1.14
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
27	1.19	1.07	1.15	1.06
	1.15	1.07	1.10	1.09
	1.34	1.14	1.14	1.15
	1.31	1.16	1.11	1.10
Ensaio	Gotejamento em nível - Sistema fotovoltaico sem bateria, 5g/L fertilizante fixo - verão			
	L / h			
1	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4

	0.96	1.00	1.11	0.98
	1.13	1.05	1.03	1.00
	0.95	1.07	0.87	0.95
	0.91	0.93	1.05	0.96
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
2	1.04	1.00	1.16	0.98
	1.14	1.10	1.12	1.17
	1.07	1.20	1.11	0.96
	1.18	1.15	1.05	0.98
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
3	1.16	0.94	1.11	1.10
	1.01	1.10	1.19	1.14
	1.07	1.07	1.11	0.98
	1.04	1.03	1.17	1.07
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
4	0.95	1.00	1.11	1.13
	1.13	1.07	1.19	1.17
	1.19	1.07	1.11	1.15
	1.18	1.03	1.17	1.07
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
5	0.92	0.88	1.10	1.10
	1.13	1.09	1.07	1.12
	0.95	0.95	0.99	0.91
	0.94	0.91	0.93	0.95
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
6	0.90	0.88	1.10	1.10
	1.13	1.09	1.07	1.12

	0.95	0.95	0.99	0.91
	0.94	0.91	0.93	0.95
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
7	1.16	1.12	1.10	1.10
	1.01	1.09	1.07	1.14
	1.07	0.95	0.99	1.03
	1.18	0.91	0.93	0.95
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
8	1.16	1.00	0.97	1.08
	1.01	0.97	1.18	1.17
	1.06	1.07	1.11	1.15
	1.06	1.15	1.05	0.96
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
9	1.16	1.12	0.98	1.09
	1.15	1.12	1.03	1.12
	1.18	1.19	1.11	1.15
	1.05	1.16	1.18	1.07
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
10	0.95	0.89	1.09	1.10
	1.17	0.92	1.06	1.11
	1.19	0.95	0.99	0.96
	0.93	0.90	0.95	1.18
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
11	0.92	0.95	1.10	1.10
	1.13	1.09	1.08	1.11
	0.95	0.95	1.08	0.91
	0.96	0.91	0.93	0.95

12	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.92	0.88	1.10	1.10
	1.13	1.09	1.07	1.12
	0.95	0.95	0.99	0.91
	0.94	0.91	0.93	0.96
13	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.92	0.88	1.10	1.10
	1.13	1.09	1.06	1.10
	1.07	0.95	0.99	0.95
	0.95	0.94	0.94	1.08
14	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.94	0.88	1.10	1.10
	1.13	1.13	1.07	1.12
	0.95	0.95	0.99	0.91
	0.96	0.91	0.93	0.96
15	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.92	0.91	1.10	1.10
	1.13	1.03	1.07	1.19
	0.95	0.95	0.99	1.03
	1.06	0.91	0.93	0.95
16	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	1.16	0.91	1.10	1.10
	1.13	1.09	1.07	1.12
	1.19	0.95	0.99	1.15
	1.18	1.15	0.93	1.19
17	L / h			

	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	1.04	1.00	1.10	1.10
	1.01	1.09	1.07	1.12
	1.19	0.95	1.03	0.91
	0.96	0.92	0.93	1.19
	L / h			
18	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	1.04	1.00	1.10	1.10
	1.01	1.09	1.07	1.12
	1.19	0.95	1.03	0.91
	0.96	0.92	0.93	1.19
	L / h			
19	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	1.08	1.00	1.11	0.98
	1.15	1.07	1.15	1.00
	0.95	0.99	1.18	0.95
	1.15	1.05	1.17	1.08
	L / h			
20	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	1.16	1.03	1.16	0.98
	1.14	1.12	1.12	1.17
	1.04	1.08	1.11	0.96
	1.15	1.15	1.17	0.98
	L / h			
21	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	1.16	0.94	1.11	1.12
	1.01	1.09	1.19	1.14
	1.07	1.07	1.11	0.98
	1.05	1.04	1.17	1.19
	L / h			
22	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4

	1.06	1.00	1.11	1.17
	1.11	1.07	1.18	1.11
	0.94	1.07	1.11	1.15
	1.17	1.03	1.12	0.83
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
23	1.16	1.00	1.10	1.10
	1.01	1.09	1.06	1.08
	1.19	1.19	0.99	1.03
	1.06	1.15	0.95	1.08
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
24	1.02	0.88	1.10	1.12
	1.11	1.04	1.03	1.12
	1.06	0.95	0.99	1.14
	1.17	0.91	1.17	1.07
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
25	1.16	1.15	1.13	0.98
	1.03	1.10	1.07	1.02
	1.07	1.18	1.11	1.03
	1.18	1.15	0.95	1.07
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
26	0.92	1.00	0.98	1.08
	1.01	0.97	1.18	1.17
	1.06	1.08	1.11	1.14
	1.01	1.15	1.05	0.96
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
27	1.16	1.12	0.98	1.11
	1.15	1.12	1.03	1.12

	1.19	1.17	1.11	1.15
	1.05	1.15	1.19	1.19
Ensaio	Gotejamento em nível - Sistema fotovoltaico sem bateria, 6g/L fertilizante fixo - verão			
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
1	0.95	1.12	1.09	1.11
	1.11	0.92	1.23	1.12
	1.15	0.87	0.99	0.96
	1.18	0.88	0.94	1.06
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
2	0.90	0.91	1.09	1.10
	1.18	0.92	1.06	1.11
	1.15	0.95	0.98	0.96
	0.96	0.90	0.95	1.18
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
3	0.82	0.89	1.09	1.10
	1.17	0.92	1.06	1.11
	0.94	0.95	0.99	0.95
	0.93	0.91	0.95	1.18
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
4	0.95	0.89	1.09	1.10
	1.17	0.92	0.82	1.11
	1.19	0.95	0.99	0.96
	0.93	0.90	0.95	0.82
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
5	1.06	0.89	1.13	1.09
	1.15	0.92	0.99	1.11

	1.18	0.95	0.87	0.83
	0.93	0.87	0.94	1.18
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
6	0.89	0.89	1.09	1.10
	0.81	0.92	1.06	0.75
	1.19	0.95	0.99	0.96
	0.93	0.90	0.84	0.82
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
7	0.95	0.89	1.09	0.74
	1.17	0.80	0.82	0.75
	1.19	0.95	0.99	0.96
	0.93	0.78	0.95	0.82
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
8	0.79	0.89	0.73	0.74
	0.81	0.92	1.06	0.99
	0.71	0.55	0.75	0.96
	0.93	0.90	0.95	0.82
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
9	0.82	0.77	0.73	1.10
	0.81	0.80	0.82	0.75
	0.83	0.84	0.75	0.84
	1.05	0.79	0.95	0.82
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
10	0.84	0.64	0.75	0.74
	0.79	0.83	0.79	0.76
	0.82	0.75	0.82	0.95
	0.79	0.81	0.81	1.08

11	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.84	0.76	0.63	0.74
	0.91	1.07	0.79	0.64
	0.95	0.75	0.76	0.82
	0.90	1.05	0.81	1.08
12	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.83	0.76	0.87	0.74
	0.88	0.83	0.79	0.76
	0.87	0.75	0.82	0.82
	0.78	0.81	0.77	0.83
13	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.76	1.00	0.75	0.98
	0.91	0.71	0.79	1.00
	0.83	0.75	0.82	0.95
	1.15	0.93	1.17	0.84
14	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.84	0.76	0.75	0.79
	0.79	0.83	0.91	0.76
	0.82	0.75	0.82	0.95
	0.79	0.81	0.81	0.84
15	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.78	1.00	0.87	0.98
	0.79	1.07	0.91	1.00
	0.95	0.99	0.82	0.95
	1.15	1.05	0.93	0.96
16	L / h			

	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.84	0.88	0.75	0.86
	1.15	1.07	0.79	0.88
	0.83	0.87	0.91	0.95
	1.15	1.05	0.93	0.84
	L / h			
17	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.84	0.76	0.75	0.62
	0.91	0.95	0.91	0.76
	0.95	0.75	0.94	0.71
	0.75	0.81	0.81	0.84
	L / h			
18	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.84	0.76	0.75	0.74
	0.79	0.83	0.79	0.88
	0.95	0.75	0.82	0.95
	0.75	0.81	0.81	1.08
	L / h			
19	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.95	0.76	0.75	0.98
	0.79	0.83	0.91	1.00
	0.95	0.99	0.82	0.95
	0.79	0.81	0.81	0.84
	L / h			
20	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
	0.84	0.88	0.87	0.86
	0.79	0.83	0.91	0.76
	0.95	0.75	0.82	0.83
	0.79	0.93	0.93	0.84
	L / h			
21	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4

	0.84	0.76	0.87	0.74
	0.79	0.83	0.91	0.76
	0.95	0.75	0.94	0.95
	0.79	0.81	0.93	0.84
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
22	0.96	0.76	0.99	0.74
	0.79	0.95	0.91	0.76
	0.83	0.75	0.94	0.83
	0.79	0.93	0.81	0.96
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
23	0.84	0.76	0.75	0.73
	0.79	0.83	0.79	0.76
	0.95	0.75	0.82	0.95
	0.79	0.81	0.81	0.84
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
24	0.84	0.76	0.75	0.74
	0.79	0.83	0.91	0.76
	0.82	0.75	0.82	0.83
	0.79	0.81	0.81	0.84
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
25	0.84	1.00	1.11	0.74
	1.15	1.07	1.15	0.76
	0.83	0.99	0.82	0.95
	0.79	1.05	1.17	0.84
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
26	1.08	1.00	1.11	0.98
	1.15	1.07	1.15	1.00

	0.95	0.99	1.18	0.95
	1.15	1.05	1.17	1.08
	L / h			
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4
27	0.96	1.00	0.87	0.74
	1.03	1.07	0.91	0.85
	0.95	0.99	0.82	0.95
	0.79	1.05	0.81	0.84