

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - CAMPUS DE CASCAVEL**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**UNIFORMIDADE DE IRRIGAÇÃO EM SISTEMA DE GOTEJAMENTO NA PRODUÇÃO  
ORGÂNICA DE AMORA PRETA**

**JUCILEY LIMA DE SOUZA**

**CASCAVEL – Paraná - Brasil**

**2022**

**JUCILEY LIMA DE SOUZA**

**UNIFORMIDADE DE IRRIGAÇÃO EM SISTEMA DE GOTEJAMENTO NA PRODUÇÃO  
ORGÂNICA DE AMORA PRETA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de mestre em engenharia agrícola, área de concentração em recursos hídricos e saneamento ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas.

**CASCADEL – Paraná - Brasil**

**2022**

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

Lima de Souza, Juciley  
Uniformidade de irrigação em sistema de gotejamento na produção orgânica de amora preta. / Juciley Lima de Souza; orientador Marcio Antonio Vilas Boas. -- Cascavel, 2022.  
33 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2022.

1. Rubus sp. 2. Irrigação por gotejamento. 3. Coeficientes de uniformidade. 4. gráficos de Shewhart. I. Vilas Boas, Marcio Antonio, orient. II. Título.

---

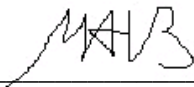
Revisora de Normas, Português e Inglês – Professora Doutora Silvana de Araújo Vaillões.

Data das revisões: 17 de maio de 2022.

**JUCILEY LIMA DE SOUZA**

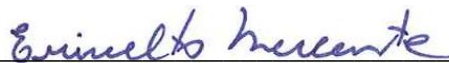
**UNIFORMIDADE DE IRRIGAÇÃO EM SISTEMA DE GOTEJAMENTO NA PRODUÇÃO  
ORGÂNICA DE AMORA PRETA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, APROVADA, pela seguinte banca examinadora:



---

Orientador: Professor Dr. Marcio Antonio Vilas Boas  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE



---

Professor Dr. Erivelto Mercante  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE



---

Professor Dr. Mauricio Guy Andrade  
Universidade Federal do Paraná – UFPR



---

Professor Dr. Allan Remos Lopes  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE

Cascavel, 17 de fevereiro de 2022

## **BIOGRAFIA**

Juciley Lima de Souza é filho de Francisco dos Santos Souza e Terezinha Lima de Souza, nascido em Capitão Poço – PA, em setembro de 1992, onde viveu e concluiu seus estudos até o ensino médio. Em 2013, iniciou o Curso de Técnico em Agroindústria no Instituto Federal de Educação Ciência Tecnologia do Pará, *Campus Castanhal*, onde iniciou sua jornada acadêmica participando de eventos institucionais do campus e concluiu seu curso técnico, em 2015. No mesmo ano, ingressou no Curso de Engenharia Agrônoma na Universidade Federal Rural da Amazônia, *Campus Capitão Poço*, situação em que teve a oportunidade de participar de projetos de iniciação científica e concluiu sua graduação, em fevereiro de 2020. Nesse mesmo ano de 2020, ingressou no curso de mestrado *stricto sensu* do programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *Campus Cascavel*, em que realiza pesquisas na área de concentração de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, com vínculo atual como discente.

Aos meus pais, Francisco e Terezinha; aos meus irmãos, Juciano, Valdiley, Maria Cléia, Cristine, Mayriane, Juciane e minha sobrinha Synara Roane, por sempre estarem juntos, me motivando, apoiando e ajudando a realizar minhas metas.

## **DEDICO E OFEREÇO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me fazer acreditar que tudo é possível quando temos fé, e que também todo esforço será recompensado no momento certo.

Ao Prof. Dr Marcio Antonio Vilas Boas, pelo seu incentivo, dedicação, tranquilidade e orientações, que contribuíram significativamente para a concretização deste trabalho.

À CAPES, pela concessão de bolsas e auxílio financeiro ao programa.

Aos meu pais, Francisco dos Santos Souza e Terezinha Lima de Souza, pelo amor incondicional, apoio e, principalmente, por acreditarem no meu potencial.

A todos os meus irmãos e parentes, que me incentivaram, apoiaram, compreenderam as minhas ausências e, acima de tudo, torceram pelo meu sucesso.

A todos os meus amigos envolvidos diretamente ou indiretamente na realização deste trabalho, em especial, o Samuel Yuri da Silva Carttelo, Lucimara Inacio Silvério, Victor Vaz, Marianna Câmera Gomes, Félix Augusto Pazuch, Isaque de Souza Mendes e Naila Cristina Kepp de Goés.

A todos os meus amigos da Universidade, em especial, Matheus Cavalcante e Jaqueline Braz Gussan, pela união, força e apoio de estarem juntos na minha jornada acadêmica.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, da UNIOESTE, campus de Cascavel, e a todo o seu corpo de servidores efetivos e terceirizados, que sempre estiveram à nossa disposição, trabalhando para formar profissionais qualificados.

# UNIFORMIDADE DE IRRIGAÇÃO EM SISTEMA DE GOTEJAMENTO NA PRODUÇÃO ORGÂNICA DE AMORA PRETA

## RESUMO

Souza, Juciley Lima de. **Uniformidade de irrigação em sistema de gotejamento na produção orgânica de amora preta**. Orientador: Marcio Antonio Vilas Boas. 2022. 33 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – Paraná, 2022.

A eficiência de aplicação de água no cultivo da amora preta faz-se necessária no período de escassez de chuva. Isso porque a atividade de irrigação no Brasil vem aumentando cada vez mais, com a expansão de áreas irrigadas. Nesse sentido, a avaliação do sistema de irrigação é um processo indispensável para um bom desempenho do sistema de irrigação. Dessa forma, a partir dos coeficientes de distribuição de água, é possível expressar de que forma a irrigação está sendo operada. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a uniformidade de distribuição de água, com a utilização de gráficos de controle e índices de capacidade de processo em um sistema de irrigação por gotejamento na produção orgânica de amora preta, no município de Cascavel (PR). O estudo foi realizado em uma propriedade rural localizada a 20 km ao sul da sede do município de Cascavel. Foram efetuados os testes de uniformidade de distribuição de água no sistema por gotejamento, tendo como base a metodologia proposta por Keller e Karmeli (1975). Com as amostras coletadas, foram calculados os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC); coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD); coeficiente de uniformidade estatístico (CUE); coeficiente de uniformidade de Hart (CUH); Coeficiente de Variação (CV) e eficiência de aplicação (Ea). Em seguida, foram confeccionados os gráficos de controle de Shewhart e histogramas de índice de capacidade de processo. Os resultados das análises dos coeficientes de CUC, CUD, CUE e CUH evidenciaram classificações, como razoável, bom, razoável, bom, respectivamente. Por outro lado, o coeficiente de variação (CV) e a eficiência de aplicação (Ea) apresentaram classificações inaceitáveis. As análises realizadas com os gráficos de controle shewhart para os coeficientes de uniformidade de irrigação demonstraram eficiência no acompanhamento temporal da variabilidade dos dados em campo. Os resultados da capacidade potencial do processo (Cp) e a capacidade efetiva do processo (Cpk) para os coeficientes de irrigação revelaram que o sistema de irrigação por gotejamento não é capaz, apontando que o sistema de irrigação necessita empregar novas técnicas de manejo da irrigação para aumentar a qualidade de irrigação e o desempenho do sistema de irrigação.

**Palavras-chave:** Rubus sp. Irrigação por gotejamento. Coeficientes de uniformidade. Gráficos de Shewhart.



# DRIP IRRIGATION UNIFORMITY IN ORGANIC BLACKBERRY PRODUCTION

## ABSTRACT

Souza, Juciley Lima de. **Drip Irrigation Uniformity in Organic Blackberry Production**. Advisor: Marcio Antonio Vilas Boas. 2022. 33 p. Dissertation (Master's Degree in Agricultural Engineering) – Western Paraná State University, Cascavel – Paraná, 2022.

The efficiency of water application in the cultivation of blackberries is necessary for the period of scarcity of rain. Thus, the irrigation activity in Brazil is increasing more and more with the expansion of irrigated areas. For this purpose, the evaluation of the irrigation system is a necessary process for the good performance of the irrigation system. Therefore, it is possible to express how irrigation is being operated from the water distribution coefficients. The objective of the present work was to evaluate the uniformity of water distribution using control charts and process capability indices in a drip irrigation system in the organic production of blackberry in the municipality of Cascavel (PR). The study was carried out on a rural property located 20 km south of the municipality of Cascavel. Tests of water distribution uniformity in the drip system were performed based on the methodology proposed by Keller and Karmeli (1975). With the collected samples, Christiansen uniformity coefficients (CUC) were calculated; coefficient of uniformity of distribution (CUD); statistical uniformity coefficient (CUE); Hart's uniformity coefficient (CUH); Coefficient of Variation (CV), and application efficiency (Ea). Then, the Shewhart control charts and process capability index histograms were made. The analysis results of the CUC, CUD, CUE, and CUH coefficients showed ratings as reasonable, good, reasonable, and good, respectively. On the other hand, the coefficient of variation (CV) and application efficiency (Ea) presented improper classification. The analyses carried out with the Shewhart control charts for the irrigation uniformity coefficients proved efficient in temporal monitoring data variability in the field. The results of the potential capacity of the process (Cp) and the effective capacity of the process (Cpk) for the irrigation coefficients revealed that the drip irrigation system is not capable, indicating that the irrigation system needs to employ new water management techniques to increase irrigation quality and irrigation system performance.

**Keywords:** Rubus sp, Drip irrigation, Uniformity coefficients, Shewhart charts.

## SUMÁRIO

ARTIGO - Uniformidade de irrigação em sistema de gotejamento na produção orgânica de amora preta.

|   |            |
|---|------------|
| <b>LISTA DE FIGURAS .....</b>   | <b>xi</b>  |
| <b>LISTA DE TABELAS .....</b>   | <b>xii</b> |
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>13</b>  |
| <b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>   | <b>15</b>  |
| 2.1 Localização da área de estudo .....   | 15         |
| 2.2 Avaliação do sistema de irrigação por gotejamento .....   | 16         |
| 2.2.1 Uniformidade de aplicação de água .....   | 16         |
| 2.2.2 Gráficos de controle Shewhart .....   | 19         |
| 2.2.4 Índices de capacidade de processo .....   | 19         |
| 2.2.5 Topografia da área de pesquisa .....  | 21         |
| <b>3 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>  | <b>22</b>  |
| 3.1 Estatística descritiva dos dados de vazão .....   | 22         |
| 3.2 Gráficos de controle de Shewhart para os coeficientes de uniformidade de distribuição de água ..... | 24         |
| 3.5 Índices de capacidade de processo para os coeficiente de uniformidade de distribuição de água ..... | 27         |
| <b>4 CONCLUSÕES .....</b>   | <b>29</b>  |
| <b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>30</b>  |

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 1:</b> Mapa de localização da área de estudo no município de Cascavel.....   | 15 |
| <b>Figura 2:</b> Layout dos pontos de coleta segundo metodologia de Keller e Karmeli (1975), em sistema de irrigação por gotejamento.. | 16 |
| <b>Figure 3:</b> Gráficos de controle Estatístico de Shewhart para os coeficientes CUD, CUC, CUE e CUH.....                            | 24 |
| <b>Figure 4:</b> Mapa de declividade da área de estudo no município de Cascavel. ....  | 26 |
| <b>Figure 5:</b> A) vazamento na 4 <sup>o</sup> linha lateral e B) vazamento na 10 <sup>o</sup> linha lateral. ....                    | 26 |
| <b>Figure 6:</b> Distribuição de frequências e índices de capacidade de processo para o CUD, CUC, CUE, CUH. ....                       | 28 |

**LISTA DE TABELAS**  
**ARTIGO**

**Tabela 1.** Classificação do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), do Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE), do Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUH), do Coeficiente de Variação (CV) e da Eficiência de Aplicação (Ea) para sistemas de irrigação por gotejamento..... 19

**Tabela 2.** Valores mínimos de classificação do processo..... 21

**Tabela 3.** Médias da Vazão (Qm), do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), do Coeficiente de Uniformidade Estatística (CUE), Eficiência de Aplicação (Ea) e Coeficiente de Variação (CV) obtidas para os ensaios e p-valor para teste de normalidade de Anderson-Darling. .... 22

## UNIFORMIDADE DE IRRIGAÇÃO EM SISTEMA DE GOTEJAMENTO NA PRODUÇÃO ORGÂNICA DE AMORA PRETA

### 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil está na posição de 12º país com as maiores áreas de produção orgânica. Isso sendo que, em termos de produção, estima-se que a área total atual do país destinada à produção orgânica seja de 1.283.054 hectares (incluindo aquelas em conversão). Só nos últimos dez anos, o aumento delas foi de 37,6%, garantindo a 9ª posição mundial entre os países com maior incremento (IFOAM; FIBL, 2021).

A amora preta (*Rubus sp.*) é uma das culturas com grande potencial de produção orgânica no Brasil. Como é de característica rústica, demanda menos insumos com adubação do que as culturas de grande importância econômica (soja, milho, entre outras). No Brasil, tem aumentado a área de plantio, principalmente no Rio Grande do Sul, como também em outros estados com características climáticas semelhantes (ANTUNES *et al.*, 2014).

Essa espécie é uma planta arbustiva de porte ereto ou rasteiro, nativa da Ásia, Europa e América, bem adaptada a regiões com inverno bem definido (MOORE, 1984). Dessa maneira, uma das principais exigências na cultura da amora-preta é a irrigação na época de escassez de chuva, entre os meses de julho a agosto. Isso porque o período de escassez hídrica reduz a absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas, ocasionando-se, assim, mudanças na anatomia, fisiologia e bioquímica das plantas, as quais ocorrem devido ao estresse hídrico (ARAÚJO *et al.*, 2010).

Esse estresse hídrico nas plantas dificulta o bom desenvolvimento de todos os seus estágios (BALARDIN *et al.*, 2011) e proporciona significativas perdas de produtividade (BILIBIO *et al.*, 2010). Nesse sentido, a irrigação é de fundamental importância para manter um boa produtividade no cultivo de frutos de amora preta.

No entanto, a agricultura irrigada é uma das atividades que demanda maior uso consuntivo de água, sendo responsável por cerca de 50% da captação de água bruta em mananciais superficiais e subterrâneos no Brasil, conforme o atlas da irrigação elaborado pela ANA (2021). Diante disso, o consumo de água na irrigação deve-se ser eficiente com base em parâmetros que influenciam o desempenho dos sistemas de irrigação em campo, evitando o uso irracional da água na agricultura.

Dentre os diversos tipos de sistemas de irrigação utilizados na agricultura, destaca-se, para a cultura da amora preta, o sistema de irrigação por gotejamento. Esse sistema é o mais apropriado para a economia de água e energia, possibilidade de automação e fertirrigação

(SANTOS *et al.*, 2015). Contudo, a avaliação dos equipamentos de irrigação em gotejamento é um procedimento indispensável para garantir a eficiência do uso da água.

De acordo com Santos *et al.* (2015), a avaliação dos sistemas de irrigação busca compreender a qualidade com a qual a irrigação está sendo realizada. Diante disso, uma das maneiras de saber é a partir de uma gama de coeficientes de uniformidade de aplicação de água, os quais expressam a variabilidade de distribuição aplicada pelo sistema de irrigação.

Segundo Sales e Sánchez-Román (2019), quanto maior a uniformidade do sistema de irrigação, melhor o desempenho. Os parâmetros de uniformidade: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade Estatística (CUE), Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUH) e Coeficiente de Variação (CV) são essenciais para o manejo da irrigação, pois são uma das entradas nos cálculos da lâmina de irrigação a ser aplicada.

Uma das formas de analisar os coeficientes de uniformidade de irrigação, ao longo da variação temporal, é com a utilização de gráfico de controle individual de Shewhart. Assim, é útil para a análise de processos de fabricação de diversos produtos, bem como para a análise de sistemas de irrigação (GOÉS, 2021).

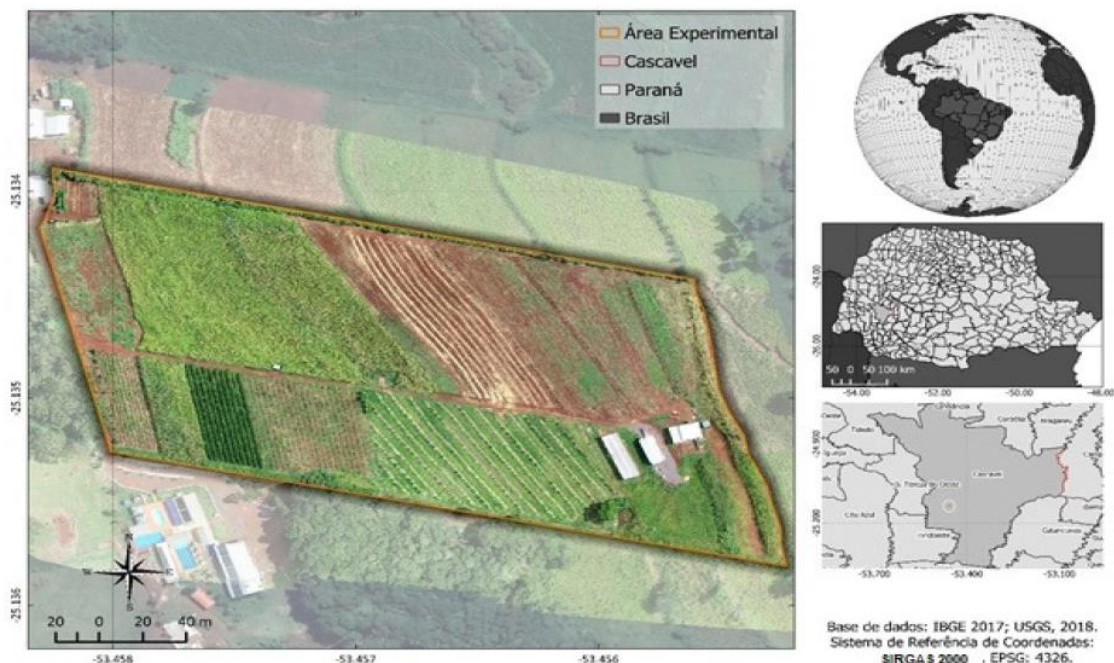
Outra ferramenta de controle estatístico do processo (CEP) é a análise da capacidade, de maneira que serve para quantificar e analisar a variabilidade do processo em relação às exigências ou especificação do sistema (FRIGO, 2012). Dessa forma, essa ferramenta é útil no monitoramento de sistemas de irrigação (MERCANTE *et al.*, 2014).

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a uniformidade de distribuição de água, com a utilização de gráficos de controle e índices de capacidade de processo em um sistema de irrigação por gotejamento na produção orgânica de amora preta, no município de Cascavel (PR).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização da área de estudo

O estudo foi realizado em uma propriedade rural, localizada a 20 km ao sul da sede do município de Cascavel (Figura 1), com as coordenadas: Latitude 25°08'06.6" Sul, Longitude 53°27'20.5" Oeste e altitude de 524 metros em relação ao nível do mar. O município de Cascavel apresenta uma amplitude de temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C e a temperatura média no mês mais quente acima de 22°C (FEIL, 2019). Conforme a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa (subtropical úmido).



**Figure 1:** Mapa de localização da área de estudo no município de Cascavel

Fonte: Isbrecht et al. (2021)

A pesquisa foi realizada em uma área que se encontra com implantação de um pomar, com dimensões de 35 m de largura e 50 m de comprimento, a qual contém 1300 plantas da variedade Tupy, plantadas no ano de 2020. Elas foram cultivadas em sistema orgânico, utilizando sistema de irrigação por gotejamento com tubos gotejadores da marca NaanPC, que possui vazão de 2,4 litros por hora a cada 30 cm.

O manejo da irrigação na área de estudo é realizado via-clima com a utilização de uma estação meteorológica de posse particular da marca Davis, modelo Vantage Pro2 GroWeather Wireless Sensor Suite, com o sistema datalogger para armazenamento dos dados base. Nesse sentido, esse sistema calcula a lâmina de irrigação aplicada com base na

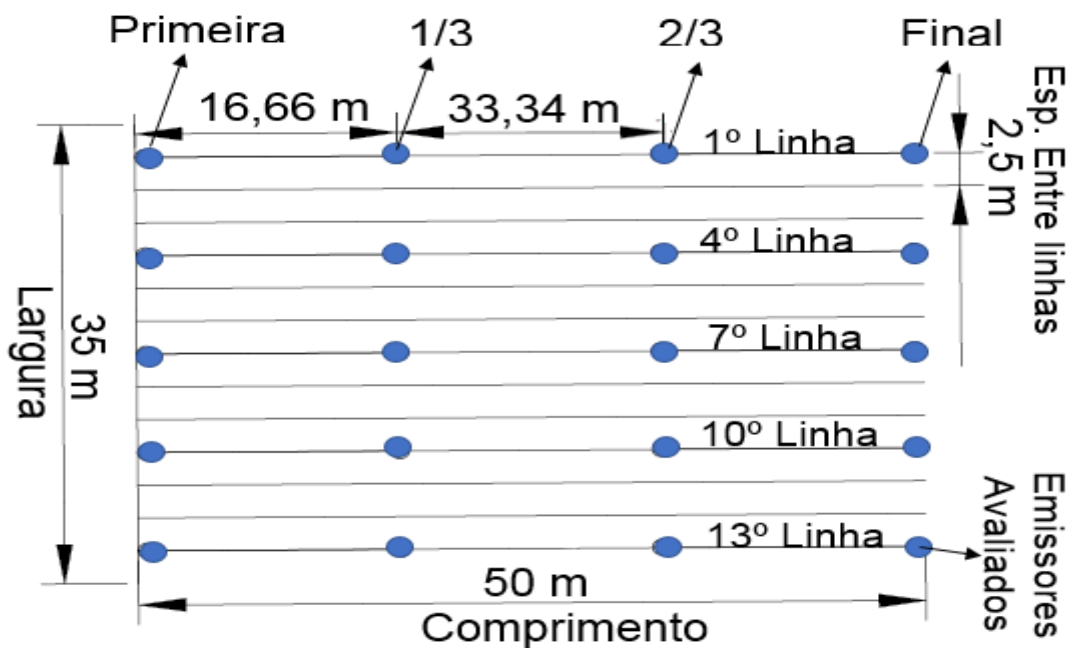
evapotranspiração da cultura, sendo que, para essa cultura, o sistema está programado para o consumo de 8 mm a 15 mm a cada três dias.

A pesquisa foi iniciada em agosto de 2021, no momento da senescência da amora-preta, a qual ocorre durante os processos de brotação, formação, floração da planta até outubro de 2021. O período de coleta dos dados ocorreu em intervalos de 15 dias, sendo realizadas 5 idas a campos; em cada ida a campo, foram realizados 5 ensaios, totalizando 25 ensaios amostrais ao final da pesquisa.

## 2.2 Avaliação do sistema de irrigação por gotejamento

### 2.2.1 Uniformidade de aplicação de água

Para a coleta das vazões, utilizou-se o método proposto por Keller e Karmeli (1975). Assim sendo, o estudo foi realizado em um sistema de irrigação por gotejamento com treze linhas laterais, em que foi feita a avaliação da uniformidade de distribuição de água em cinco linhas laterais (1º linha, 4º linha, 7º linha, 10º linha, 13º linha), realizando-se avaliações em quatro pontos ao longo de cada linha lateral, a fim de observar o primeiro emissor, o segundo localizado a  $1/3$  (16,66 m), o terceiro a  $2/3$  (33,34 m) do início e o último emissor da linha (Figura 2).



**Figura 2:** Layout dos pontos de coleta segundo metodologia de Keller e Karmeli (1975), em sistema de irrigação por gotejamento.

Fonte: Elaborado pelo autor



Os dados de vazões da pesquisa foram obtidos por meio da coleta de água em recipientes aplicados pelo emissor em um período cronometrado de quatro minutos, tendo como objetivo manter, em todos os ensaios, as mesmas características de operação do sistema, ou seja, mesma pressão e tempo, fatores climáticos; assim, a medição do volume de água no recipiente foi mensurada por uma proveta graduada de 1 litro.

Com o intuito de detectar possíveis diferenças de pressões, durante a coleta de dados de vazões, foi realizada a leitura de pressões do sistema de irrigação por gotejamento em todos os ensaios. Dessa maneira, foram feitas as medições no início da primeira linha lateral e, ao final da última linha lateral, durante todos os ensaios.

De posse dos dados coletados, foram calculadas as respectivas vazões e, posteriormente, determinados o coeficiente de uniformidade de distribuição – CUD (Equação 1); o coeficiente de uniformidade de Christiansen – CUC (Equação 2); o coeficiente de uniformidade estatístico – CUE (Equação 3); coeficiente de uniformidade de Hart – CUH (Equação 4), eficiência de aplicação (Equação 5) e coeficiente de variação – CV (Equação 6), conforme as equações abaixo.

$$CUD = 100 * \frac{\bar{X}_{25}}{\bar{X}} \quad \text{Eq.(1)}$$

Em que:

CUD: Coeficiente de Uniformidade de Distribuição;

$\bar{X}_{25}$ : Média das 25% menores descargas dos emissores, em L h<sup>-1</sup>;

$\bar{X}$ : Média das descargas de todos os emissores, em L h<sup>-1</sup>.

$$CUC = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n * \bar{X}} \right] \quad \text{Eq.(2)}$$

Em que:

CUC: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen;

n: Número de observações;

X<sub>i</sub>: Lâmina de água coletada no i-ésimo ponto sobre a superfície do solo;

$\bar{X}$ : Lâmina média aplicada.

$$CUE = 100 * \left( 1 - \frac{S_d}{Q_{méd}} \right) \quad \text{Eq.(3)}$$

Em que:

CUE: Coeficiente de Uniformidade Estatístico;

Sd: desvio padrão dos valores de precipitação, em L h<sup>-1</sup>;

Q<sub>méd</sub>: Média das vazões coletadas nos gotejadores na subárea, em L h<sup>-1</sup>.

$$CUH = \left[ 1 - \sqrt{\frac{2}{\pi} * \frac{S_d}{q_{méd}}} \right] \quad \text{Eq.(4)}$$

Em que:

CUH: Coeficiente de Uniformidade de Hart, em %;

Sd: desvio padrão dos valores de precipitação, em L h<sup>-1</sup>;

q<sub>méd</sub>: Média das vazões coletadas nos gotejadores na subárea, em L h<sup>-1</sup>.

$$Ea = 0,9 * CUD \quad \text{Eq.(5)}$$

Em que:

Ea: Eficiência de aplicação;

CUD: Coeficiente de Uniformidade de Distribuição.

$$CV = 100 * \frac{S_d}{q_{méd}} \quad \text{Eq.(6)}$$

Em que:

CV: Coeficiente de Variação, em %;

Sd: desvio padrão dos valores de precipitação, em L h<sup>-1</sup>;

q<sub>méd</sub>: Média das vazões coletadas nos gotejadores na subárea, em L h<sup>-1</sup>.

Para avaliação dos resultados obtidos dos coeficientes de uniformidade de irrigação no sistema de gotejamento, foram utilizadas as informações e/ou parâmetros apresentados na Tabela 1. A interpretação dos valores de CUC, CUD, CUE e Ea foi baseando-se na proposição de Mantovani (2002) e os padrões da ASAE EP 405.1 (2003), citado por Borssoi *et al.* (2012).

**Tabela 1.** Classificação do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), do Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE), do Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUH), do Coeficiente de Variação (CV) e da Eficiência de Aplicação (Ea) para sistemas de irrigação por gotejamento.

| Classificação | CUD (%) | CUC (%) | CUE (%) | CUH (%) | CV (%)  | Ea (%)  |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Excelente     | > 90    | 90 -100 | 90 -100 | 90 -100 | < 5     | ≥ 95    |
| Bom           | 80 -90  | 80 - 90 | 80 - 90 | 80 - 90 | 5 - 7   | 80 - 95 |
| Razoável      | 70 -80  | 70 - 80 | 70 - 80 | 70 - 80 | 7 - 11  | -       |
| Ruim          | < 70    | 60 -70  | 60 -70  | 60 -70  | 11 - 15 | -       |
| Inaceitável   | -       | -       | < 60    | -       | > 15    | < 80    |

Fonte: Adaptado de Mantovani (2002), Borsoi *et al.* (2012) e Bralts (1986).

### 2.2.2 Gráficos de controle Shewhart

Com o objetivo de encontrar um método alternativo de monitoramento da uniformidade dos ensaios, utilizou-se a confecção de gráficos de controle estatístico de qualidade, considerando-se as cartas de controle de Shewhart. Para isso, foi necessário calcular os Limites Inferior e Superior de Especificação, obtidos pelas equações (7) e (8), respectivamente.

$$LIC = \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{Eq.(7)}$$

$$LSC = \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{Eq.(8)}$$

Em que:

$\mu$ : média dos ensaios, %;

n: número de ensaios;

$\sigma$ : desvio-padrão amostral.

Os gráficos de controle de Shewhart, para medidas individuais, com o objetivo de acompanhar o comportamento de 24 ensaios, foram confeccionados utilizando o programa MINITAB, versão 19.

### 2.2.4 Índices de capacidade de processo

Com o intuito de avaliar a capacidade do processo do sistema de irrigação por gotejamento, foi realizado o cálculo do Índice de capacidade de processo (Cp), para todos os coeficientes de uniformidade de irrigação, bem como para a eficiência de aplicação de água, o que é demonstrado na equação 9. Isso porque o estudo da capacidade de processo levou

em consideração a metodologia proposta por Montgomery (2009), em que o processo apresenta-se estável e a variável de interesse demonstra distribuição próxima da normal.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad \text{Eq.(9)}$$

Em que:

$C_p$  - Índice de capacidade de processo;

LSE - Limite superior de estatístico;

LIE - Limite inferior de estatístico;

$\sigma$  - Desvio padrão populacional da variável em estudo, como é geralmente desconhecido, é comumente substituído por uma estimativa; tipicamente utilizado o desvio padrão amostral  $s$ .

Para satisfazer algumas das lacunas deixadas pelo  $C_p$ , foi realizado o cálculo da capacidade efetiva do processo ( $C_{pk}$ ). Dessa forma, o principal motivo para a realização desse cálculo é que o índice  $C_p$  mede apenas a capacidade com base na dispersão do processo e não considera o nível do processo relacionado ao deslocamento médio. Abaixo, são apresentadas as equações 10 e 11, sendo que  $C_{pk}$  é o menor valor entre  $C_{ps}$  e  $C_{pi}$ , como demonstrado na Equação 12.

$$C_{pi} = \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma} \quad \text{Eq.(10)}$$

$$C_{ps} = \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma} \quad \text{Eq.(11)}$$

$$C_{pk} = (C_{pi}; C_{ps}) \quad \text{Eq.(12)}$$

Em que:

$C_{pk}$  - Capacidade efetiva do processo;

LSE - Limite superior de estatístico;

LIE - Limite inferior de estatístico;

$\bar{X}$  - Média observada do processo;

$\sigma$  - Desvio padrão populacional da variável em estudo, como é geralmente desconhecido, é comumente substituído por uma estimativa; tipicamente utilizado o desvio padrão amostral  $s$ .

Na Tabela 2, há a classificação para o índice de capacidade do processo para uma especificação unilateral (Cpk), segundo (MONTGOMERY, 2009).

**Tabela 2.** Valores mínimos de classificação do processo

|  | <b>Especificações Bilaterais</b> | <b>Especificações Unilaterais</b> |
|--|----------------------------------|-----------------------------------|
| 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)      | 1,67                             | 1,60                              |

Fonte: Montgomery (2009).

### 2.2.5 Topografia da área de pesquisa

A classificação da topografia da área de pesquisa foi realizada a partir do levantamento da declividade da propriedade. Dessa forma, houve a obtenção das imagens capturadas pelo Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) da área de pesquisa experimental, as quais foram adquiridas pelo Laboratório de Topografia e Geoprocessamento da Unioeste (GeoLab) – Campus de Cascavel. Assim, foram gerados os produtos de ortomosaico, Modelo Digital de Superfície (MDS), Modelo Digital de Terreno (MDT), a partir do software Pix4D.

Após o processamento das imagens pelo software Pix4D, foi calculada a declividade da área de pesquisa utilizando o software QGIS versão 3.16, de maneira que a declividade em porcentagem e a classificada em relevo plano ( 0% - 3%), suave-ondulado (3% - 8%), ondulado (8% - 20%), forte-ondulado (20% - 45%), montanhoso (45% - 75%) e escarpado ( > 75%), classificação de acordo com a EMBRAPA (2009), foi gerada a partir do MDT da área.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Estatística descritiva dos dados de vazão

Conforme a Tabela 3, são apresentados os dados das médias obtidas para a vazão, os coeficientes de uniformidade, eficiência de aplicação e coeficiente de variação em cada um dos ensaios; além disso, são apresentadas as análises descritivas dos coeficientes de vazão para irrigação. Dessa forma, a média, desvio-padrão e o teste de normalidade de Anderson-Darling, a 5% de significância, foram calculados.

**Tabela 3.** Médias da Vazão (Qm), do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), do Coeficiente de Uniformidade Estatística (CUE), Eficiência de Aplicação (Ea) e Coeficiente de Variação (CV) obtidas para os ensaios e p-valor para teste de normalidade de Anderson-Darling.

| Ensaio         | Qm   | CUD   | CUC   | CUE   | CUH   | Ea    | CV    |
|----------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1              | 2,54 | 54,71 | 76,35 | 60,05 | 68,12 | 49,24 | 39,95 |
| 2              | 2,63 | 67,77 | 80,06 | 66,01 | 72,88 | 60,99 | 33,99 |
| 3              | 2,60 | 65,90 | 81,71 | 69,23 | 75,44 | 59,31 | 30,77 |
| 4              | 2,71 | 74,14 | 86,06 | 80,54 | 84,47 | 66,72 | 19,46 |
| 5              | 2,77 | 71,00 | 83,95 | 74,75 | 79,85 | 63,90 | 25,25 |
| 6              | 2,93 | 71,61 | 81,27 | 73,27 | 78,67 | 64,45 | 26,73 |
| 7              | 2,95 | 72,77 | 81,64 | 75,16 | 80,18 | 65,50 | 24,84 |
| 8              | 2,96 | 74,43 | 82,36 | 76,24 | 81,04 | 66,99 | 23,76 |
| 9              | 2,80 | 83,88 | 90,30 | 86,80 | 89,47 | 75,49 | 13,20 |
| 10             | 2,93 | 83,84 | 87,65 | 77,53 | 82,07 | 75,46 | 22,47 |
| 11             | 2,90 | 85,20 | 88,87 | 79,05 | 83,28 | 76,68 | 20,95 |
| 12             | 2,82 | 77,22 | 91,81 | 74,22 | 79,42 | 69,50 | 25,78 |
| 13             | 2,84 | 79,62 | 87,06 | 74,80 | 79,89 | 71,66 | 25,20 |
| 14             | 2,88 | 86,36 | 88,44 | 75,78 | 80,67 | 77,73 | 24,22 |
| 15             | 2,74 | 93,02 | 94,10 | 91,42 | 93,15 | 83,72 | 8,58  |
| 16             | 2,76 | 92,81 | 94,24 | 92,21 | 93,78 | 83,53 | 7,79  |
| 17             | 2,76 | 93,48 | 90,69 | 91,52 | 93,23 | 84,13 | 8,48  |
| 18             | 2,76 | 93,06 | 94,76 | 91,58 | 93,28 | 83,76 | 8,42  |
| 19             | 2,78 | 92,18 | 93,94 | 87,92 | 90,36 | 82,96 | 12,08 |
| 20             | 3,12 | 81,83 | 79,02 | 68,70 | 75,02 | 73,65 | 31,30 |
| 21             | 3,11 | 81,33 | 79,48 | 68,35 | 74,74 | 73,20 | 31,65 |
| 22             | 3,14 | 80,86 | 79,35 | 68,69 | 75,01 | 72,78 | 31,31 |
| 23             | 3,18 | 80,19 | 77,80 | 66,88 | 73,57 | 72,17 | 33,12 |
| 24             | 3,16 | 80,19 | 78,81 | 67,47 | 74,04 | 72,17 | 32,53 |
| <b>Média</b>   | 2,87 | 79,89 | 85,41 | 76,59 | 81,32 | 71,90 | 23,41 |
| <b>DP</b>      | 0,18 | 9,79  | 5,96  | 9,33  | 7,45  | 8,81  | 9,33  |
| <b>P-valor</b> | 0,22 | 0,48  | 0,09  | 0,06  | 0,06  | 0,48  | ----- |

Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com as análises apresentadas na Tabela 3, a vazão média de todos os ensaios apresentou resultado de 2,87 L/h, sendo acima da informada pelo fabricante do tubo de gotejadores de 2,4 L/h. Segundo Santos *et al.* (2015), a vazão do sistema de irrigação por gotejamento pode ser alterada por vários fatores, dentre eles: o entupimento de gotejadores, pouca pressão de serviço nas linhas de derivação, sistemas de irrigação velhos, entre outros.

O valor do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) no sistema de irrigação (Tabela 3) mostra que o valor médio obtido é de 79,89%, o que é classificado como razoável (MANTOVANI, 2002). Porém, o valor desse coeficiente é inferior ao valor convencional de 90%, o que o torna inviável para culturas de importância socioeconômica (MANTOVANI, 2009). Comparando-se com o valor descrito por Santos *et al.* (2015), o valor do CUD é maior, de maneira que a pesquisa avaliava a uniformidade da distribuição de água do sistema de irrigação por gotejamento da cultura do inhame, no município de Taquarana (Al). Correlacionado com os valores obtidos pela pesquisa de Souza *et al.* (2017), obtiveram resultados semelhantes à pesquisa em um sistema de irrigação por gotejamento no cultivo de videira de vinho.

Em relação ao Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), conforme apresentado na Tabela 3, o resultado médio é de 85,41%, indicando que o desempenho do sistema de irrigação é classificado como Bom (MANTOVANI, 2002). Correlacionado com a pesquisa de Araújo Neto *et al.* (2015), o resultado obtido para o CUC é menor, na qual, a pesquisa avaliava o desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento em cana-de-açúcar. Por outro lado, na pesquisa de Santos *et al.* (2015), o valor do CUD é maior, tendo em vista que o estudo avaliava a uniformidade da distribuição de água do sistema de irrigação por gotejamento da cultura do inhame, no município de Taquarana (Al).

Embora a pesquisa tenha apresentado resultado do CUC abaixo do valor mínimo de 90%, recomenda-se para culturas de grande importância econômica (MANTOVANI *et al.*, 2009). De acordo com Valnir Junior *et al.* (2013), considera-se que valores acima de 84% já podem ser considerados adequados para sistemas de irrigação por gotejamento.

Os coeficientes CUE e CUH foram classificados como razoável e bom, de acordo com a classificação proposta por Mantovani (2002) (76,59% e 81,32%, respectivamente). De acordo com Santos *et al.* (2015), informa-se que o CUC é um índice baseado no desvio médio absoluto, para expressar a dispersão das lâminas, e o CUH e CUE são baseados no desvio-padrão como medida de dispersão. Dessa forma, valores semelhantes são esperados e, assim, demonstram que há distribuição normal referente às lâminas aplicadas pelos emissores.

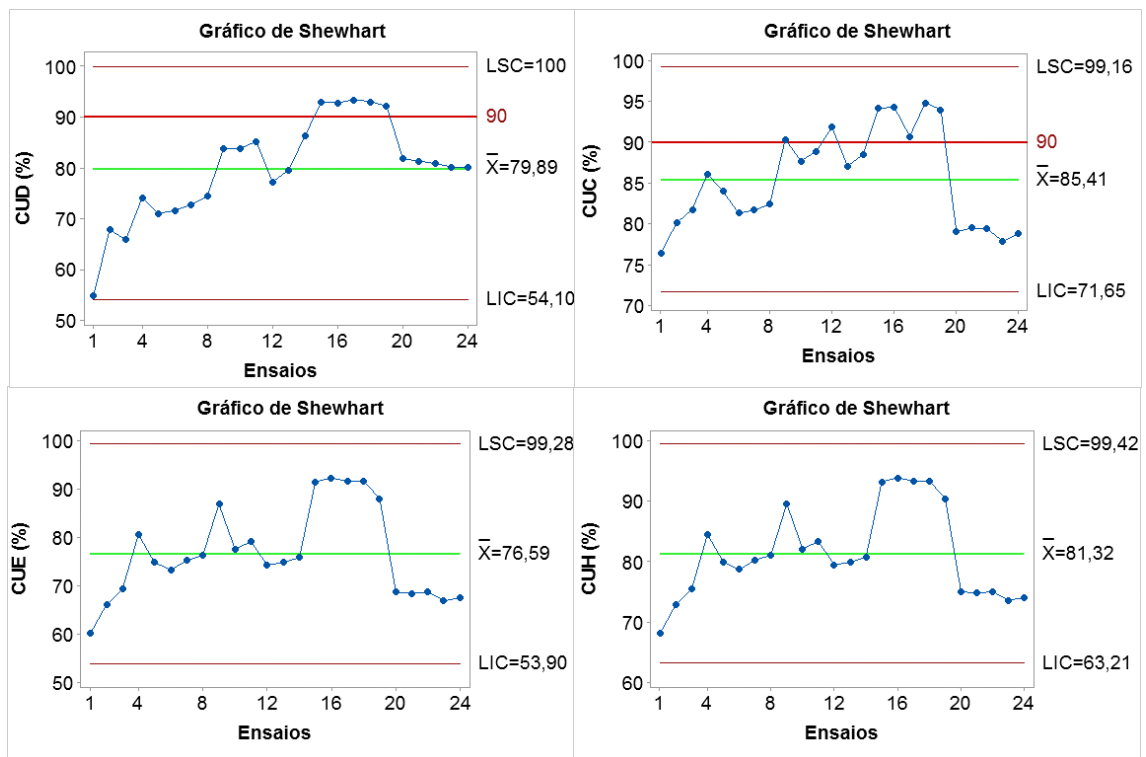
Quanto à eficiência de aplicação da água ( $E_a$ ), verifica-se uma eficiência de 71,90% classificada como baixa, pois os valores encontrados são inferiores aos recomendados na

literatura para sistemas de irrigação por gotejamento, variando de 90% a 95% (MANTOVANI *et al.*, 2009). Já em relação ao coeficiente de variação (CV), foi obtido o valor de 23,41, o qual é classificado como inaceitável (BORSSOI *et al.*, 2012). Resultados semelhantes a esses foram obtidos por Santos *et al.* (2015), ao analisar a uniformidade e eficiência do uso da água em um sistema de irrigação local; também, foi encontrado um valor que foi considerado inaceitável.

De acordo com a análise da Tabela 3, pode-se concluir que a distribuição dos dados obtidos para os coeficientes de vazão de irrigação e os demais parâmetros é normalmente distribuída, ou seja, esses conjuntos de dados podem ser utilizados para construir um gráfico de controle das variáveis individuais.

### 3.2 Gráficos de controle de Shewhart para os coeficientes de uniformidade de distribuição de água

Na Figura 3, são apresentados os gráficos individuais de controle de Shewhart para os coeficientes da uniformidade da vazão. Observa-se, por essas distribuições, a tendência do sistema de irrigação por gotejamento ao longo de 24 ensaios.



**Figure 3:** Gráficos de controle Estatístico de Shewhart para os coeficientes CUD, CUC, CUE e CUH. Fonte: Elaborado pelo autor



Avaliando a configuração de cada um dos gráficos de controle de Shewhart, observa-se que todos os coeficientes de irrigação apresentaram ensaios dentro dos limites de controle estatístico. Para o CUD, apresentou duas tendências; a primeira está abaixo da linha média, entre os pontos 1 e 8, e a segunda acima da linha média, entre os pontos 14 e 22. De acordo com Montgomery (2016), quando sete ou mais pontos em sequência estão abaixo ou acima da linha média, demonstra-se uma tendência dos dados e, assim, representa um indicativo de falta de controle estatístico.

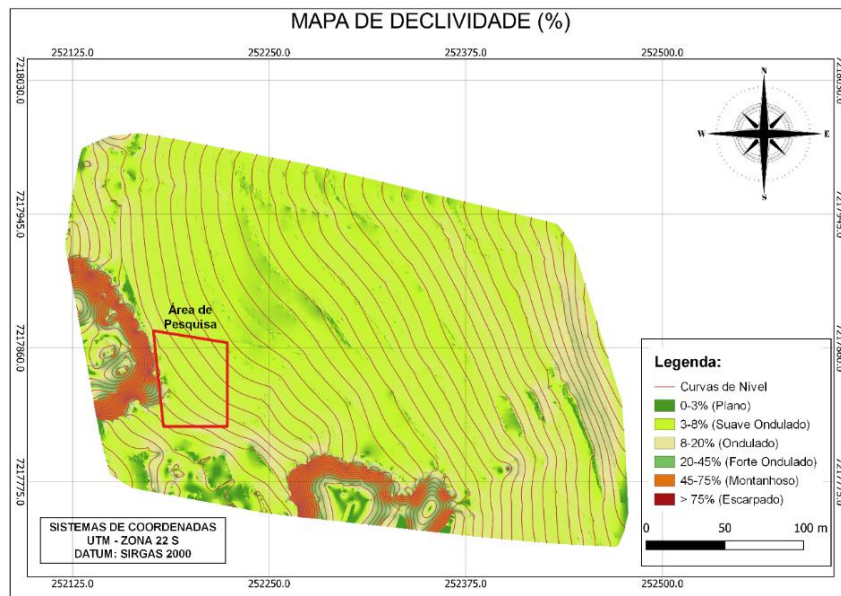
Já para o CUC, verifica-se um gráfico dentro do controle estatístico, por não ultrapassar os limites de controle inferior e superior. Porém, observa-se, na distribuição dos pontos no gráfico, a falta de controle estatístico por apresentar uma tendência, sendo acima da linha média entre os ensaios 9 e 19 (MONTGOMERY, 2016).

Os coeficientes CUE e CUH apresentaram a mesma configuração do gráfico controle Shewhart. Nesse sentido, verifica-se que eles também estão dentro dos limites do controle estatístico. Isso considerando que, diferentemente dos outros coeficientes de irrigação (CUD e CUC), não apresentaram tendências. Embora os coeficientes apresentem, nos gráficos, sequência de cinco pontos acima (15 ao 19) e abaixo (20 ao 24) da linha da média, isso não é visto como uma tendência (MONTGOMERY, 2016).

Como demonstrado nos gráficos de controle de Shewhart, para o CUD, CUC, CUE e CUH, nenhum dos gráficos apresentou, em sua configuração, todos os dados acima de 90%, sendo classificado como excelente (MANTOVANI, 2002); apenas o CUC tem todos os valores acima de 70% e com média de 84, 92%, classificado como uniformidade boa.

De forma geral, os resultados da pesquisa em campo apresentaram alta variabilidade nos dados. De acordo com Andrade (2016), isso ocorre devido às constantes mudanças climáticas, como vento e radiação solar. Ademais, há também a variação de vazão dos emissores, diferenças de pressão dentro da subunidade (VILAS BOAS, 2020), a topografia da área (Figura 4) e o surgimento de alguns vazamentos nos tubos gotejadores (Figura 5), os quais afetaram diretamente a qualidade da irrigação.

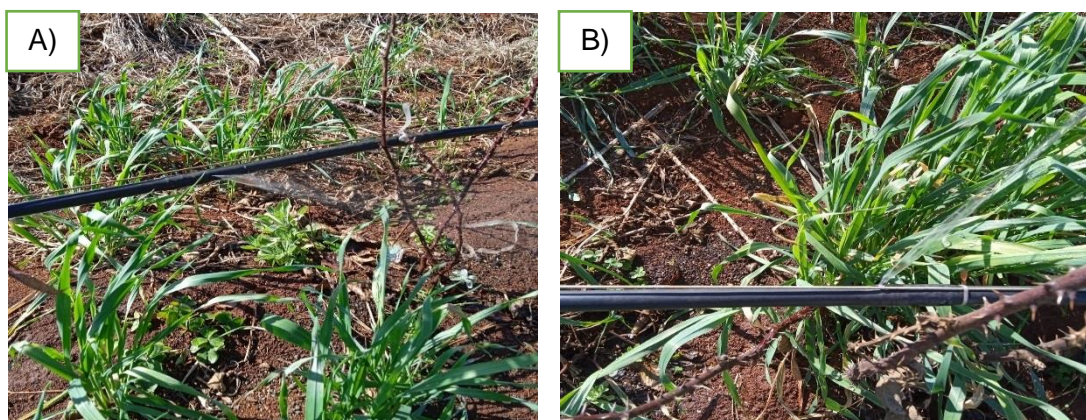
Nesse sentido, um dos principais motivos que justificaram a grande variabilidade dos dados da pesquisa em campo foi a topografia da área. Isso porque áreas com declividades acentuadas podem intensificar a velocidade da água na tubulação (CEOLIN, 2017) e, quando aliada com os ventos de alta intensidade, as gotas de dois emissores se unem, percorrendo a linha lateral e transmitindo, em um único local, a água; como consequência, diminui a uniformidade e aumenta a vazão em pontos isolados.



**Figure 4:** Mapa de declividade da área de estudo no município de Cascavel.  
Fonte: Autor

De acordo com os resultados obtidos da pesquisa, a topografia da área apresentou declividades entre 3% a 8%, classificada como suave-ondulado (EMBRAPA, 2009). Segundo Ceolin (2017), declividades de até 4% possuem a uniformidade pouco afetada em relação ao nível; para a declividade de 6%, há maior redução da uniformidade e da vazão. Diante disso, a declividade da área de pesquisa influenciou diretamente a variabilidade dos dados de campo.

Resultados semelhantes, que corroboram a pesquisa, foram encontrados por Ella, Reyes e Yoder (2009), ao estudar a uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação por gotejamento de baixo custo com diferentes declividades e quedas hidráulicas, os quais constataram que a uniformidade diminui com o aumento das declividades.



**Figure 5:** A) vazamento na 4ª linha lateral e B) vazamento na 10ª linha lateral.  
Fonte: Autor

No entanto, não foi apenas a declividade que influenciou a variabilidade dos dados da pesquisa em campo, mas também os vazamentos em algumas linhas laterais (linha 4° e 10°), que influenciaram diretamente a perda de vazão e pressão; por consequência, houve mudanças na distribuição de água pelos emissores, o que diminuiu a uniformidade de irrigação do sistema.

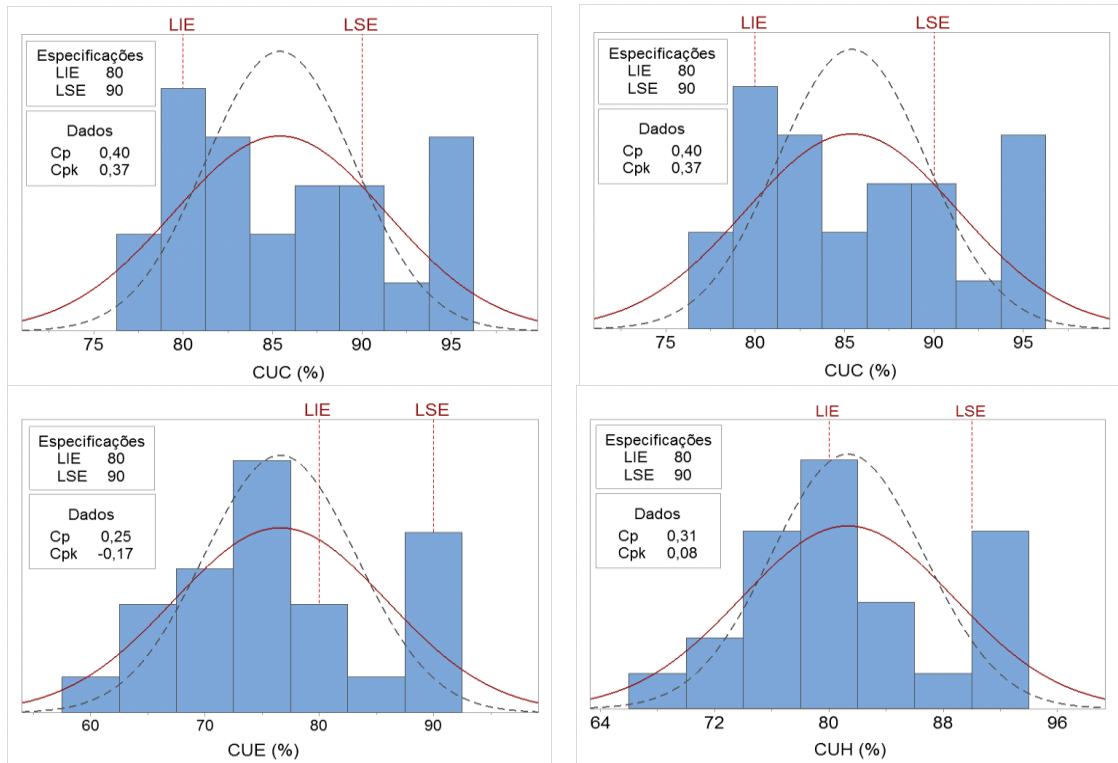
Pesquisas semelhantes em campo foram apresentadas por Juchen, Suszek e Vilas Boas (2013), utilizando os gráficos de controle para a irrigação por gotejamento na cultura da alface, obtiveram todos os ensaios sob controle.

Estudos em discordância foram apresentados por Siqueira, Vilas Boas e Moura (2016), os quais pesquisaram um sistema de irrigação por microaspersores em jardins residenciais, de maneira que verificaram a ocorrência de valores abaixo do limite inferior do gráfico de Shewhart. Ademais, Nunes (2018), analisando a irrigação e fertirrigação por gotejamento em hortas urbanas, verificou a presença de valores abaixo do limite inferior nos gráficos de controle de Shewhart.

Além desses resultados que estão em discordância, em relação a ambiente laboratorial, foram apresentados outros por Lopes *et al.* (2020), de forma que analisaram um sistema de irrigação por gotejamento com diferentes cargas hidráulicas, utilizaram os gráficos de controle de Shewhart como ferramenta de análise e, assim, notaram que valores de ensaios ultrapassaram o limite inferior. Andrade *et al.* (2017), avaliando a irrigação por microaspersão por meio de gráficos de controle Shewhart, observaram a presença de ensaio, o que ultrapassou o limite inferior. Hermes *et al.* (2013), Hermes *et al.* (2014) e Hermes *et al.* (2015), analisando um sistema de irrigação por gotejamento, observaram ocorrência de valores abaixo do limite inferior de controle no gráfico de Shewhart.

### **3.5 Índices de capacidade de processo para os coeficiente de uniformidade de distribuição de água**

Com o objetivo de fazer uma avaliação mais confiável dos resultados da uniformidade de irrigação, foi calculado o índice de capacidade do processo ( $C_p$ ) e a capacidade efetiva do processo ( $C_{pk}$ ). Sendo assim, a ilustração desses índices foi representada na Figura 4, em que são demonstrados os histogramas para as distribuições de frequências e os índices de capacidade do processo, utilizando um LIC de 80%, obtidos para os coeficientes de uniformidade de vazão para a irrigação, ao longo dos 24 ensaios.



**Figure 6:** Distribuição de frequências e índices de capacidade de processo para o CUD, CUC, CUE, CUH.

Fonte: Elaborado pelo autor

Avaliando os valores de capacidade potencial de processo ( $C_p$ ) e capacidade efetiva do processo ( $C_{pk}$ ), para um limite inferior de 80%, classificado como bom (MANTOVANI, 2002), verifica-se que os resultados para CUD, CUC, CUE e CUH não são aceitáveis para um sistema de irrigação capaz. Isso porque os valores de todos os  $C_p$ s, para os coeficientes de irrigação, foram inferiores a 1,33. De acordo com a proposta de Keller e Karmeli (1975), valores com índice de  $C_p$  menores que 1,33 representam que o sistema de irrigação não é capaz. Da mesma maneira, todos os valores de  $C_{pk}$ s para os coeficientes de irrigação foram abaixo de 1; segundo a proposta de Ramos (2003), para o processo ser considerado capaz, o  $C_{pk}$  deve ser igual ou superior a 1,0.

Estudos apresentados como semelhantes foram descritos por Siqueira, Vilas Boas e Moura (2016), de maneira que pesquisaram um sistema de irrigação por microaspersores em jardins residenciais, onde todos os tratamentos não foram considerados como um sistema capaz. Zocoler *et al.* (2015), avaliando um sistema de irrigação por gotejamento, com a aplicação de água salina, também verificaram que o sistema de irrigação não foi capaz.

Por outro lado, estudos em discordância foram apresentados por Nunes (2018), que analisou a irrigação e fertirrigação por gotejamento em hortas urbanas, verificou que a capacidade de processo do sistema de irrigação foi classificada como capaz.

## 4 CONCLUSÕES

Para o sistema de irrigação por gotejamento em avaliação, as classificações do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), do Coeficiente de Uniformidade Estatística (CUE) e do Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUH) foram classificados como razoável, bom, razoável, bom, respectivamente.

Os valores referentes ao coeficiente de variação (CV) e à eficiência de aplicação (Ea) apresentaram classificação inaceitável.

As análises dos gráficos de controle shewhart para os coeficientes de uniformidade de irrigação demonstraram-se eficientes no acompanhamento temporal da variabilidade dos dados em campo.

Os resultados da capacidade potencial do processo (Cp) e a capacidade efetiva do processo (Cpk), para os coeficientes de irrigação, revelaram que o sistema de irrigação não é capaz.

Com base nos dados obtidos, o sistema de irrigação por gotejamento apresentou uma uniformidade de distribuição de água variável entre razoável a bom, eficiência de aplicação de água baixa, coeficiente de variação alto, gráficos de shewhart com indícios de falta de controle e índices de capacidade de processo (Cp e Cpk) baixos. Diante disso, é necessário adotar novas técnicas de manejo da irrigação para aumentar a qualidade de irrigação e o desempenho do sistema de irrigação.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, M. G. D.; BOAS, M. A. V.; SIQUEIRA, J. A. C.; SATO, M.; DIETER, J.; HERMES, E.; MERCANTE, E. Uniformity microsprinkler irrigation system using statistical quality control. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 4, p. 1-7., janeiro., 2017.
- ANTUNES, L. E. C.; PEREIRA, I. S.; PICOLOTTO, L.; VIGNOLO, G. K.; GONÇALVES, M. A. Produção de amoreira-preta no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. 1, p. 100-111, março, 2014.
- ARAÚJO, S.A.C.; VASQUEZ, H.M.; CAMPOSTRINI, E.; NETTO, A.T.; DEMINICIS, B.B.; LIMA, É.S. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.), em estresse hídrico. **Acta Scientiarum: Animal Sciences**, Maringá, v. 32, n.1, p. 1-7, março, 2010.
- ARAÚJO NETO, R. A.; SARMENTO, P. L.; FERREIRA JÚNIOR, R. A.; SILVA, M. B. P.; ROCHA, A. E. Q.; TEODORO, I. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento em cana-de-açúcar. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 13, n. 1, p. 15-18, abril, 2015.
- ASAE. Sociedade Americana de Engenheiros Agrônomos. **Projeto e instalação de sistemas de microirrigação**. São José: Asae Standards engenharia práticas dados: EP 405.1, 2003.
- BALARDIN, R.S.; SILVA, F.D.L.; DEBONA, D.; CORTE, G.D.; FAVERA, D.D.; TORMEN N.R. Tratamento de sementes com fungicidas e inseticidas como redutores dos efeitos do estresse hídrico em plantas de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 7, p. 1120-1126, julho, 2011.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8 ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 2006.
- BILIBIO, C.; CARVALHO, J.A.; MARTINS, M.; REZENDE, F.C.; FREITAS, E.A.; GOMES, L.A.A. Desenvolvimento vegetativo e produtivo da berinjela submetida a diferentes tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n. 7, p. 730-735, fevereiro, 2010.
- BORSSOI, A. L.; VILAS BOAS, M. A.; REISDÖRFER, M.; HERNÁNDEZ, R. H.; FOLLADOR, F. A. Water application uniformity and fertigation in a dripping irrigation set. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 718-726, julho/agosto, 2012.
- BRALTS, V. F. Field performance and evaluation. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. (Ed). **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986. p. 216-240
- DOS SANTOS, C. S.; DOS SANTOS, D. P.; DA SILVA, P. F.; SILVA, T. V.; DOS SANTOS, M. A. L. Avaliação da uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por gotejamento em pimenta. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 8, n. 3, p. 5, julho/setembro, 2013.
- DOS SANTOS, M. A. L.; DOS SANTOS, D. P.; SILVA, D. S.; DOS SANTOS SILVA, M.; CAVALCANTE, P. H. S. Avaliação da uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por gotejamento em inhame (*Dioscorea cayennensis* L.). **Revista Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 13, n. 1, p. 7-12, fevereiro., 2015.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009. XXVI, 412p, ISBN 85-85864-04-4.

FAGHERAZZI, A. F., KRETZSCHMAR, A. A., MACEDO, T. A., Vignolo, G. K., ANTUNES, L. E. C., KIRSCHBAUM, D. S., ... & FUFATO, L. La coltivazione dei piccoli frutti in sud America: non solo mirtili. Embrapa Clima Temperado. **Fruticultura**, v. 81, n.7/8, p. 44-47, 2017.

FEIL, A. C. **Balço hídrico e estimativa do consumo relativo de água da cultura de amoreira-preta em sistema orgânico para manejo automatizado de irrigação na região de Cascavel-Paraná**. Orientador: VILAS BOAS, M. A. 2019. 16p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2019.

FRIGO, J. P. **Controle estatístico da qualidade na irrigação por aspersão**. Orientador: VILAS BOAS, M. A. 2014. 43 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014.

FRIGO, J. P. **Controle do processo da irrigação no sistema de aspersão convencional em Palotina-PR**. Orientador: VILAS BOAS, M. A. 2012. 43 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – PR, 2012.

GOES, N. C. K. **Controle estatístico da fertirrigação por gotejamento na declividade da linha lateral**. Orientador: VILAS BOAS, M. A. 2021. 42 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2021.

HERMES, E. **Avaliação da irrigação por gotejamento com aplicação de água residuária de amidonaria**. Orientador: VILAS BOAS, M. A. 2013. 111 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.

HERMES, E.; VILAS BOAS, M. A.; FRIGO, E. P.; BERGER, J. S.; LINS, M. A.; FRIGO, J. P. Irrigation with wastewater from cassava processing with different concentrations of suspended solids. **International Journal of Food, Agriculture and Environment (Print)**, Helsinki, v.12, p. 487-490, agosto, 2014.

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

IFOAM; FIBL. **The World of organic agriculture: Statistics & Emerging trends 2021**. Disponível em: <https://www.fibl.org/en/shop-en/1150-organic-world-2021>. Acesso em: 18 novembro. 2021.

ISBRECHT, G.; FERREIRA, B. B.; DE SOUZA MENDES; I., MERCANTE, E.; VILAS BOAS, M. A. Determinação da porcentagem de área sombreada em sistemas de irrigação por gotejamento por meio de aerolevanteamento com drone. **Revista Técnico-Científica**, 27ª edição, p. 1-21, setembro, 2021.

IRRIGAÇÃO, ANA Atlas. **Uso da água na agricultura irrigada**. Agência Nacional de Águas - ANA: Brasília, DF, Brasil, 2ª edição, 2021.

JUCHEN, C. R.; SUSZEK, F. L.; VILAS BOAS, M. A. Irrigação por gotejamento para produção de alface fertirrigada com águas residuárias agroindustriais. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 1, p. 243-256, abril/junho, 2013.

KELLER, J.; KARMEI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975.

LOPES, A. R.; VILAS BOAS, M. A.; PAZUCH, F. A.; OSTROSKI, D. A.; SCHMATZ, M. A. Control charts for monitoring drip irrigation with different hydraulic heads. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 15, n. 4, p. 1-10, junho, 2020.

MANTOVANI, E. C. **Avalia: manual do usuário**. Viçosa, EMBRAPA, 2002.

MANTOVANI, E. C., BERNARDO, S., PALARETTI, L. F. **Irrigação - Princípios e Métodos**. Editora UFV. Pág. 355, 3ª ed. Viçosa – MG, 2009.

MERCANTE, E.; VILAS BOAS, M. A.; SILVA, B. B.; KLEIN, M. R. Utilização de gráficos de controle estatístico na irrigação. **Revista eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, local, v. especial, n., p. 97-108, maio, 2014.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. Tradução Ana Maria Lima de Farias, Vera Regina Lima de Farias e Flores; Revisão técnica Luiz da Costa Laurencel. – 4 ed., reimpr. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

MOORE, J.N. Blackberry breeding. **HortScience**, Alexandria, v.19, n. 2, p.183-185, 1984.

NUNES, T. Z. **Controle de qualidade de irrigação e fertirrigação por gotejamento em horta urbana**. Orientador: VILAS BOAS, M. A. 2018. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2018.

SALES, M. A. L.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M. Uniformidade de um sistema de irrigação por gotejamento sob diferentes concentrações de água residuária tratada por radiação solar. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã, v. 13, n. 4, p. 301–311, dezembro, 2019.

SIQUEIRA, M. M. K.; VILAS BOAS, M. A.; MOURA, J. P. Gráficos de controle na avaliação de sistema de irrigação em jardins residenciais. In: Embrapa Instrumentação-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: **IV INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING; XXVI CONIRD-Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem; III Simpósio Brasileiro de Salinidade**, 2017.

SOUZA, M. H. C.; SANTOS, R. D. S.; BASSOI, L. H. Avaliação da uniformidade de um sistema de irrigação por gotejamento. In: Embrapa Instrumentação-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: **IV INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING; XXVI CONIRD-Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem; III Simpósio Brasileiro de Salinidade**, 2017.

VALNIR JUNIOR, M.; CARVALHO, C. M.; SANTOS NETO, A. M.; SOARES, J. I.; LIMA, S. C. R. V.; CARVALHO, M. A. R. Análise de desempenho em laboratório de linha gotejadora antes e após sua utilização em campo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, Fortaleza, v. 5, n. 4, outubro, 2013.



VENTURA, K. M.; BISPO, R. C.; SANTOS, R. D. S.; SOUZA, M. H. C.; SÁNCHEZ-ROMAN, R. M. Análise da uniformidade de aplicação em diferentes sistemas de cultivo com irrigação localizada. **Revista irriga**, Botucatu, v. 1 Edição Especial, n. 1, p. 57-63, fevereiro, 2017.

VILAS BOAS, M. A. **Fundamentos de irrigação localizada**. Cascavel – PR: Editora EDUNIOESTE, 2ª edição, 2020.

ZOCOLER, J. L.; RIBEIRO, P. H. P.; SILVA, N. S.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento com água salina. **Irriga**, Botucatu, v.7, n.1, p. 234-247, setembro, 2015.