

## CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE EM UM SISTEMA DE GOTEJAMENTO NA PRODUÇÃO ORGÂNICA DE AMORA PRETA

JUCILEY LIMA DE SOUZA <sup>1</sup>, MARCIO ANTONIO VILAS BOAS <sup>2</sup>, MAURICIO GUY ANDRADE <sup>3</sup>, VICTOR VAZ <sup>4</sup>, LUCIMARA INACIO SILVÉRIO <sup>5</sup>, SAMUEL YURI DA SILVA CARLETTO <sup>6</sup>

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, Doutorando em Eng. Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Juciley.ufra@gmail.com;

<sup>2</sup> Eng. Agrícola, Professor doutor, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, marcio.vilasboas@unioeste.br;

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Professor doutor, Universidade Federal do Paraná, mauricio.andrade@ufpr.br;

<sup>4</sup> Graduação em Física, Doutorando em Eng. Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, victorvaz.fis@gmail.com;

<sup>5</sup> Graduando em Eng. Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, lucimara.is@hotmail.com;

<sup>6</sup> Graduando em Eng. Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, samuelyuri.sc@gmail.com.

Apresentado no  
LI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2022  
27 a 29 de outubro de 2022 - Pelotas - RS, Brasil

**RESUMO:** A avaliação do sistema de irrigação é um processo indispensável para um bom desempenho do sistema de irrigação. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a uniformidade de distribuição de água, com a utilização de gráficos de controle 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 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). Em seguida, foram confeccionados os gráficos de controle de Shewhart para os coeficientes de irrigação. 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.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Rubus sp.*, Irrigação por gotejamento, Gráficos de Shewhart.

## STATISTICAL QUALITY CONTROL IN A DRIP SYSTEM IN ORGANIC BLACKBERRY PRODUCTION

**ABSTRACT:** The evaluation of the irrigation system is a necessary process for the good performance of the irrigation system. For this purpose, the objective of the present work was to evaluate the uniformity of water distribution using control charts in a drip irrigation system in the organic production of blackberry in Cascavel (PR). The study was carried out on a rural property located 20 km south 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) and Hart's uniformity coefficient (CUH). Then, the Shewhart control charts were made for the irrigation coefficients. The analysis of the Shewhart control charts for the irrigation uniformity coefficients proved to be efficient in the temporal monitoring of data variability in the field.

**KEYWORDS:** *Rubus sp.*, Drip irrigation, Shewhart charts.

**INTRODUÇÃO:** A amora preta (*Rubus sp.*) 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). Sendo que, 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).

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.

Um das formas de analisar os coeficientes de uniformidade de irrigação, ao longo da variação temporal, é com a utilização de gráficos de controle individual de Shewhart. Sendo que, essa ferramenta já é empregada para a análise de processos de fabricação de diversos produtos, assim sendo, pode ser também usada para análise de sistemas de irrigação.

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

**MATERIAL E MÉTODOS:** 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).

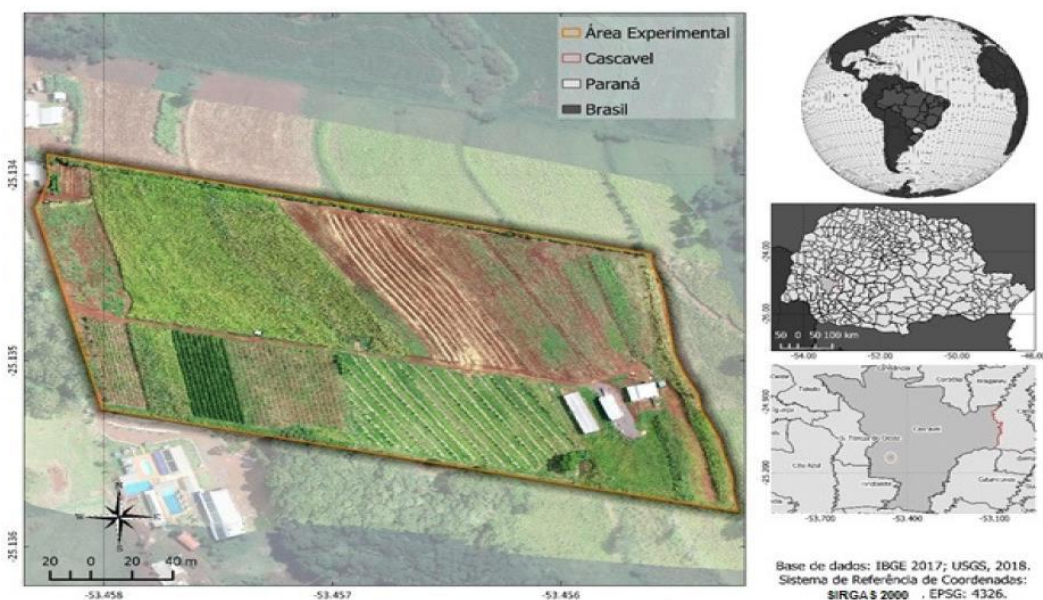


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo no município de Cascavel.

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.

O início das coletas de dados em campo ocorreram a partir de 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.

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 e 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).

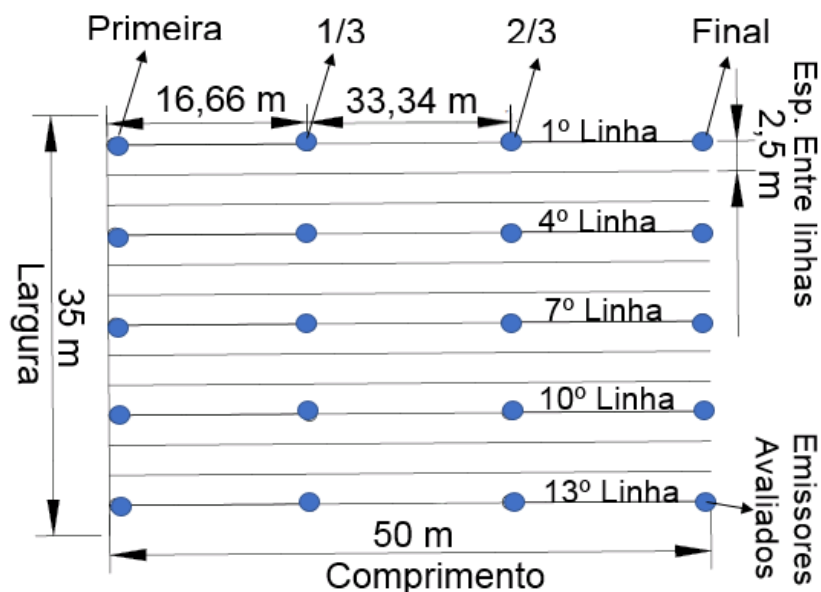


Figura 2: Layout dos pontos de coleta segundo metodologia de Keller e Karmeli (1975), em sistema de irrigação por gotejamento.

Fonte: Elaborado pelo autor.

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) e o coeficiente de uniformidade de Hart – CUH (Equação 4). Logo após, foram calculados o Limite Inferior Estatístico (LIE) e o Limite Superior Estatístico (LSE), todas essas equações estão representadas abaixo.

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

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;  
 $X_i$ : 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;  
S<sub>d</sub>: 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 %;  
S<sub>d</sub>: 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>.

$$LIC = \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{Eq.(5)}$$

$$LSC = \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{Eq.(6)}$$

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. A análise dos gráficos de controle de Shewhart para os coeficientes de irrigação, foram utilizadas as informações e/ou parâmetros baseado na proposta de Montgomery (2016) e Mantovani (2002).

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.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** 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.

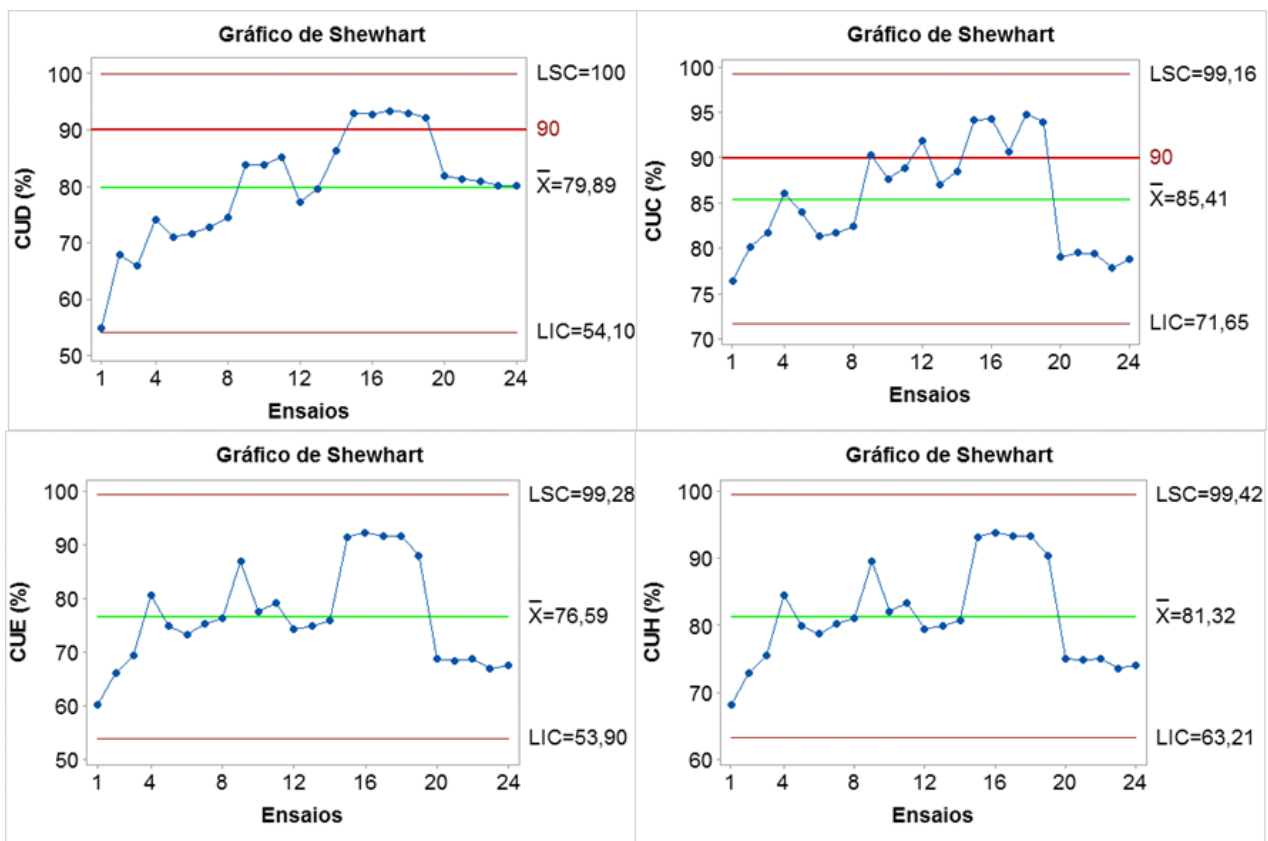


Figura 3: Gráficos de controle Estatístico de Shewhart para os coeficientes CUD, CUC, CUE e CUH.

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, observa-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 (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 et al. (2017), 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.

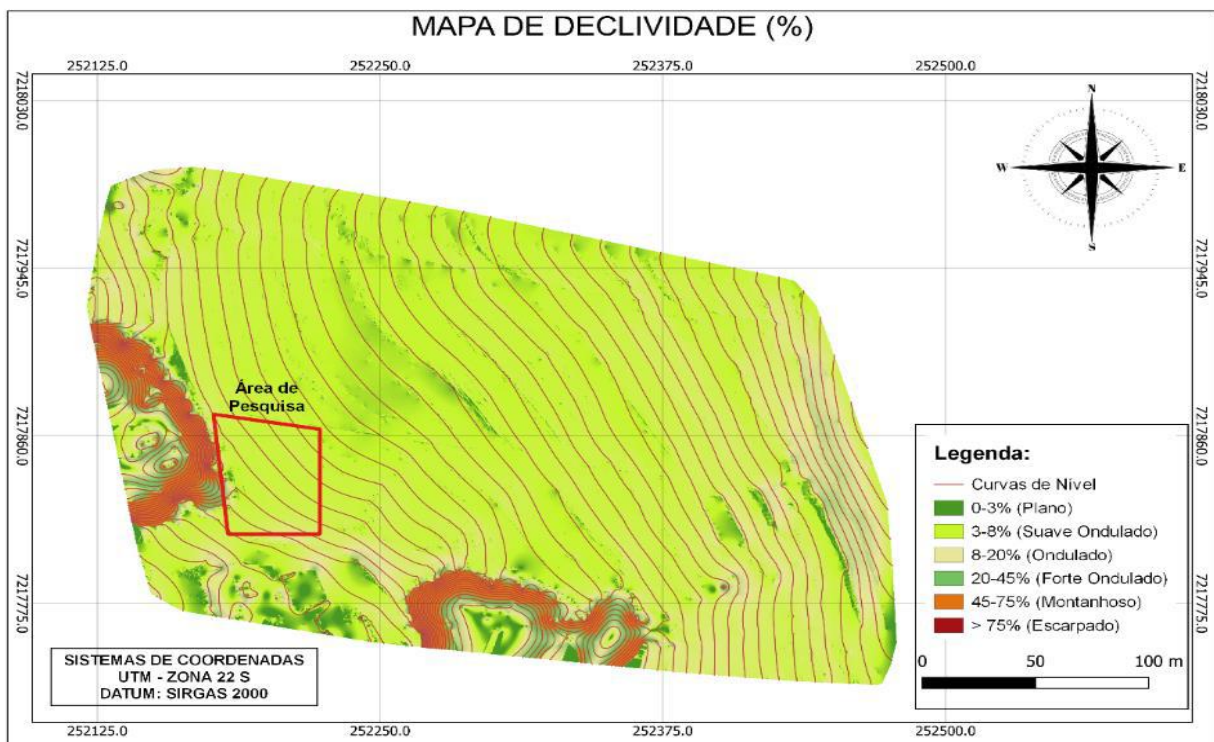


Figura 4: Mapa de declividade da área de estudo no município de Cascavel.

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 et al. (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.

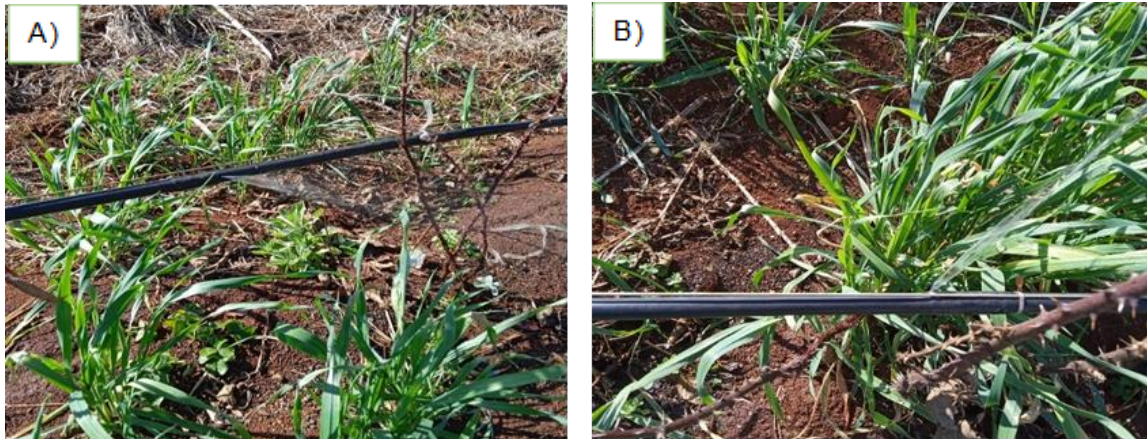


Figura 5: A) vazamento na 4º linha lateral e B) vazamento na 10º linha lateral.  
Fonte: Autor

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 4º e 10º), 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 et al. (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 et al. (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.

**CONCLUSÕES:** Com base nos dados obtidos, o sistema de irrigação por gotejamento apresentou indícios de falta de controle para os coeficientes de CUD e CUC. Ao passo, que os coeficientes CUE e CUH apresentaram sob controle estatístico sem indícios de falta de controle. Alguns dos motivos que justificam essa grande variabilidade dos dados em campo, foram a declividade da área e os vazamentos nos tubos gotejadores em duas linhas do sistema que influenciaram diretamente nos resultados dos coeficientes de uniformidade de irrigação do sistema em gotejamento. Diante disso, verifica-se que 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.

**AGRADECIMENTOS:** Ao produtor por permitir a condução da pesquisa em sua propriedade, a equipe de alunos envolvidos na realização das avaliações em campo e a CAPES pelo apoio financeiro durante curso.

**REFERÊNCIAS:** 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**, v. 47, n. 4, p. 1-7, 2017.

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**, 1-7, 2010.

CEOLIN, R. D. Uniformidade de irrigação por gotejamento em diferentes declividades. 2017. 26p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Agronomia de Palotina, Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2017.

ELLA, V. B.; REYES, M. R.; YODER, R. Efeito da altura hidráulica e inclinação na uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação por gotejamento de baixo custo. **Engenharia Aplicada na Agricultura**, v. 25, n. 3, p. 349-356, 2009.

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

FEIL, A. C. **Balanco 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**. 2019. 16p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Curso de Engenharia Agrícola: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Cascavel, 2019. Disponível em: [https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/4620/5/Ademar\\_Feil\\_2019.pdf](https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/4620/5/Ademar_Feil_2019.pdf). Acesso em: 2 jun. 2022.

IRRIGAÇÃO, ANA Atlas. **Uso da água na agricultura irrigada**. 2. Ed. Brasília: Agência Nacional de Águas - ANA, 2021, 130 p.

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 aerolevante com drone. **Revista Técnico-Científica**, v. 27, p. 1-21, 2021.

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

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

MANTOVANI, E. C. **Avalia: Manual do usuário**. Viçosa, DEA/UFV–PNP&D/café EMBRAPA, 2002, 100p.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 7. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016, 549 p.

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

NUNES, T. Z. **Controle de qualidade de irrigação e fertirrigação por gotejamento em horta urbana**. 2018. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Curso de Engenharia Agrícola: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Cascavel, 2018. Disponível em: [https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/3919/5/Thiago\\_Nunes2018.pdf](https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/3919/5/Thiago_Nunes2018.pdf) Acesso: 2 jun. 2022.

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, L. S.; BORGES, A. L.; REZENDE, J. O. Influência da correção e do preparo do solo sobre algumas propriedades químicas do solo cultivado com bananeiras. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., 1994, Petrolina. **Anais...** Petrolina: EMBRAPA, CPATSA, 1994. p. 3-4.

VILAS BOAS, M. A. **Fundamentos de irrigação localizada**. 2. Ed. Cascavel – PR: Editora EDUNIOESTE, 2020, 143p.