

## ENTUPIMENTO DE EMISSORES SOB APLICAÇÃO DE DIFERENTES FONTES DE NITROGÊNIO

**FERNANDO NOBRE CUNHA<sup>1</sup>; GABRIELA NOBRE CUNHA<sup>2</sup>; MARCONI BATISTA TEIXEIRA<sup>1</sup>; WILKER ALVES MORAIS<sup>1</sup>; NELMÍCIO FURTADO DA SILVA<sup>1</sup>; WENDSON SOARES DA SILVA CAVALCANTE<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Departamento de Hidráulica e Irrigação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rodovia Sul Goiana, km 01, Zona Rural, CEP: 75.901-970, Rio Verde GO, Brasil, fernandonobrecunha@hotmail.com, marconibt@gmail.com, wilker.alves.morais@gmail.com, nelmiciofurtado@gmail.com, wendsonbfsoarescv@gmail.com*

<sup>2</sup>*Departamento de Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente, UniEVANGÉLICA, Av. Universitária km 3,5 Cidade Universitária, CEP: 75083-515, Anápolis GO, Brasil, gabriela-nc@hotmail.com*

### 1 RESUMO

O entupimento de emissores está diretamente relacionado a qualidade da água de irrigação, além disso pode-se observar um agravamento no entupimento devido à prática da fertirrigação, técnica cada vez mais frequente em sistemas de irrigação localizada. Objetivou-se avaliar o grau de entupimento de gotejadores submetidos a aplicação de nitrato de potássio, sulfato de amônio, nitrato de cálcio, nitrato de amônio e ureia. O experimento foi realizado em uma casa de vegetação. O delineamento experimental utilizado é em blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial  $5 \times 4$ , com três repetições. Os tratamentos consistiram em cinco fontes de N (nitrato de potássio, sulfato de amônio, nitrato de cálcio, nitrato de amônio e ureia) e quatro tempos de funcionamento (200 400, 600 e 800 h). Foi utilizado um modelo de tubo gotejador com vazão nominal de  $2 \text{ L h}^{-1}$ , diâmetro nominal 16 mm, diâmetro interno 13 mm, pressão de operação 100 a 350 kPa e espaçamento entre emissores de 0,7 m. Depois de tabulados os dados de vazão, foram determinados o coeficiente de uniformidade estatístico, o coeficiente de uniformidade absoluto, coeficiente de variação e o grau de entupimento. A aplicação de nitrato de cálcio provoca o maior grau de entupimento dos gotejadores.

**Palavras-chave:** fertirrigação, obstrução, uniformidade, sulfato de amônio, nitrato de potássio.

**CUNHA, F. N.; CUNHA, G. N.; TEIXEIRA, M. B.; MORAIS, W. A.; SILVA, N. F.; CAVALCANTE, W. S. S.**

**CLOGGING OF DRIPPERS UNDER THE APPLICATION OF DIFFERENT SOURCES OF NITROGEN**

### 2 ABSTRACT

Emitter clogging is directly related to the quality of irrigation water. Furthermore, clogging can be observed due to the practice of fertigation, an increasingly common technique in localized irrigation systems. The objective of this study was to evaluate the degree of clogging of drippers subjected to the application of potassium nitrate, ammonium sulfate, calcium nitrate, ammonium nitrate and urea. The experiment was carried out in a greenhouse. The experimental

design used was randomized blocks, analyzed in a  $5 \times 6$  factorial scheme, with three replications. The treatments consisted of five N sources (potassium nitrate, ammonium sulfate, calcium nitrate, ammonium nitrate and urea) and four operating times (200 400, 600 and 800 h). A dripper pipe model with nominal flow rate of  $2 \text{ L h}^{-1}$ , nominal diameter of 16 mm, internal diameter of 13 mm, operating pressure of 100 to 350 kPa and spacing between emitters of 0.7 m was used. After tabulating the flow data, the statistical uniformity coefficient, the absolute uniformity coefficient, coefficient of variation and the degree of clogging were determined. The application of calcium nitrate causes the greatest degree of clogging of the drippers.

**Keywords:** fertigation, clogging, uniformity, ammonium sulfate, potassium nitrate.

### 3 INTRODUÇÃO

A irrigação na agricultura deve ser entendida como uma técnica que dê condições para que o material genético expresse em campo todo o seu potencial produtivo, além disso a irrigação é um instrumento muito eficaz no aumento da rentabilidade (Hernandez, 1994; Silva; Silva, 2005; Kumar; Ashoka, 2020).

A busca por um melhor gerenciamento da água de irrigação passa pelo aumento da eficiência do uso da água de irrigação e redução das perdas, que pode ser alcançado pela irrigação por gotejamento, que é considerado um método eficaz para reduzir a aplicação de água e aumentar a eficiência do uso da água ao aplicar água diretamente nas zonas de raiz de cada planta, particularmente em áreas com baixa precipitação e de elevado custo da água de irrigação (Sinha; Shasikant, 2021).

Sistemas de irrigação localizada são tecnologias onde pode-se utilizar técnicas como a fertirrigação de fertilizantes solúveis via água de irrigação, com elevada uniformidade de aplicação, assumindo importância econômica e ambiental na atividade agrícola (Borssoi *et al.*, 2012; Hakiruwizera *et al.*, 2024).

A uniformidade de aplicação de água afeta a produtividade e o rendimento das culturas e o custo da irrigação, áreas irrigadas com baixa uniformidade de distribuição de água podem levar a problemas como lixiviação de nutrientes,

saturação do solo, aumento na incidência de doenças, déficit hídrico e desuniformidade na colheita (Paulino *et al.*, 2009; Coelho *et al.*, 2018).

Os coeficientes de uniformidade são os principais parâmetros utilizados na avaliação de sistema de irrigação, visto que expressam o funcionamento do sistema e a qualidade da irrigação, sendo decisivos no planejamento e na operação dos sistemas de irrigação, além disso a análise dos coeficientes de uniformidade é essencial para avaliar o desempenho de qualquer sistema de irrigação (Souza *et al.*, 2006; Rodrigues *et al.*, 2013; Banjare; Sinha, 2020).

O entupimento de emissores está diretamente relacionado a qualidade da água de irrigação que inclui fatores como: quantidade de partícula suspensa, composição química e população microbiana; assim com isto, também pode-se observar um agravamento no entupimento de emissores, devido à prática da fertirrigação, técnica cada vez mais frequente em sistemas de irrigação localizada (Ribeiro *et al.*, 2005; Coelho, 2007). Cabe destacar que para avaliar o sistema de irrigação, diversos parâmetros são determinados a campo, como a vazão, tempo de irrigação e uniformidade de aplicação de água, estes são critérios básicos para tomada de decisões em relação ao diagnóstico do sistema (Paulino *et al.*, 2009; Gultekin *et al.*, 2022).

A avaliação de sistemas de irrigação localizada portanto deve ser um procedimento rotineiro com a finalidade de detectar falhas de maneira oportuna para sua solução (Salgado *et al.*, 2021). Adicionalmente, a necessidade de conservação dos recursos hídricos e redução nos custos de produção, principalmente de energia e de insumos, demonstra a importância de realizar a avaliação da uniformidade de aplicação e do grau de entupimento dos sistemas de irrigação, principalmente para obter uma aplicação de água uniforme e eficiente (Rezende *et al.*, 2002; Sinha; Shasikant, 2021). Objetivou-se, deste modo avaliar o grau de entupimento de gotejadores submetidos a aplicação de nitrato de potássio, sulfato de amônio, nitrato de cálcio, nitrato de amônio e ureia.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma casa de vegetação instalada na área experimental do IFGoiano – Campus Rio Verde. A casa de vegetação é constituída de cobertura de filme plástico polietileno transparente, de 150 micras e laterais fechadas, com tela tipo sombrite com 30% de interceptação. As coordenadas geográficas do local de instalação são 17°48'28" S e 50°53'57" O, com altitude média de 720 m ao nível do mar. O clima da região é classificado conforme Köppen e Geiger (1928), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro. A temperatura média anual varia de 20 a 35 °C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais.

O delineamento experimental utilizado é em blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial  $5 \times 4$ , com três repetições. Os tratamentos consistiram em cinco fontes de N (nitrato de potássio, sulfato de amônio, nitrato de cálcio e nitrato de amônio e ureia) e quatro tempos de funcionamento (200 400, 600 e 800 h). Foi aplicada uma dose de nitrogênio igual para todos os tratamentos, equivalente a uma recomendação de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Foi utilizado um modelo de tubo gotejador com vazão nominal de 2 L h<sup>-1</sup>, diâmetro nominal 16 mm, diâmetro interno 13 mm, pressão de operação 100 a 350 kpa e espaçamento entre emissores de 0,7 m.

À entrada das linhas gotejadoras foi instalada uma tomada de pressão, permitindo que a cada medição de vazão a pressão fosse checada e, se necessário, ajustada àquela pré-estabelecida. Para isso, foi utilizado um manômetro de bourdon com faixa de leitura de 0 - 4 Kgf cm<sup>-2</sup>. Durante todo o período do ensaio foram realizadas as leituras de temperatura da água no reservatório de captação, com aplicação dos tratamentos com temperatura da água na faixa de 25°C (25°C ± 1°C).

O tempo de injeção dos fertilizantes corresponderam a 2 horas como forma de garantir uma melhor aplicação das fontes de nitrogênio, com base em uma diluição mínima. Para injeção dos fertilizantes no sistema de irrigação optou-se por um injetor Venturi que realizava a sucção do fertilizante depois de dissolvidos em uma caixa reservatório com capacidade para 50 L. A Tabela 1 apresentam as características do nitrato de potássio, sulfato de amônio, nitrato de cálcio e nitrato de amônio e ureia utilizados na fertirrigação.

**Tabela 1.** Concentração de nutriente das fontes de nitrogênio utilizadas na fertirrigação

Fontes de nitrogênio <sup>1</sup>	Concentração de nutriente (g kg <sup>-1</sup> )			
	N	S	Ca	K <sub>2</sub> O
Sulfato de amônio	200	240	-	-
Nitrato de cálcio	140	-	280	-
Nitrato de potássio	130	-	-	460
Nitrato de amônio	340	-	-	-
Ureia	450	-	-	-

<sup>1</sup>Adaptado de Frizzone e Botrel (1994); Vitti, Boaretto e Penteadó (1994); Sousa *et al.* (2011).

O procedimento para realização da leitura de vazão consistiu na pressurização do sistema, estabilização da pressão em 150 kPa (+/- 5 kPa) no início da linha, posicionamento dos coletores sob os respectivos gotejadores com três segundos de defasagem e retirada dos coletores com a mesma sequência e defasagem de tempo após 5 min de coleta. Foi utilizado o método gravimétrico para a determinação do volume coletado de cada emissor. O monitoramento da vazão dos gotejadores, permitiu a obtenção da vazão média dos gotejadores.

Depois de tabulados os dados de vazão, foram efetuados os cálculos de uniformidade de aplicação de água, coeficiente de variação e do grau de entupimento, conforme as equações 1 a 4.

$$CUE = 100 \left( 1 - \frac{S}{\bar{X}} \right) \quad (1)$$

$$CUA = 50 \left( \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} + \frac{\bar{X}}{X_{12,5\%}} \right) \quad (2)$$

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} 100 \quad (3)$$

$$GE = \left( 1 - \frac{q_{usado}}{q_{novo}} \right) 100 \quad (4)$$

Em que:

CUE - coeficiente de uniformidade estatístico, em %;

CUA - coeficiente de uniformidade absoluto, em %;

CV - coeficiente de variação de vazão, %;

GE - grau de entupimento, %;

$X_{25\%}$  - média de 25% do total de gotejadores, com as menores vazões, em L h<sup>-1</sup>; e

$X_{12,5\%}$  - média de 12,5% do total de gotejadores, com as maiores vazões, em L h<sup>-1</sup>;

$X_i$  - vazão de cada gotejador, em L h<sup>-1</sup>;

$\bar{X}$  - vazão média dos gotejadores, em L h<sup>-1</sup>;

S - desvio padrão da vazão dos gotejadores usados, L h<sup>-1</sup>;

$q_{novo}$  - vazão do gotejador novo, L h<sup>-1</sup>;

$q_{usado}$  - vazão do gotejador usado, L h<sup>-1</sup>;

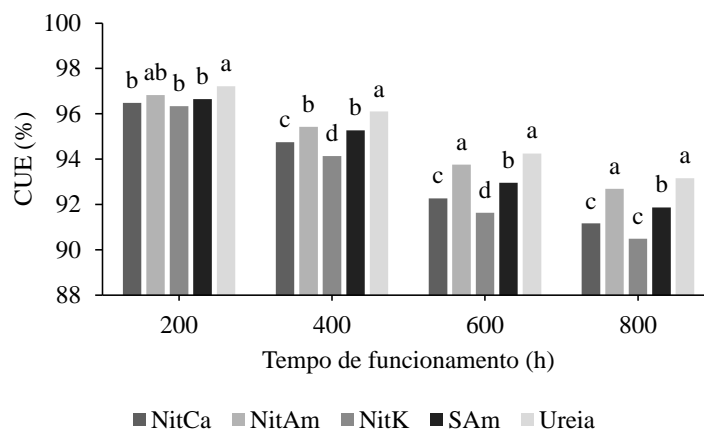
Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade, e em casos de significância, foi realizada a análise de regressão para os tempos de funcionamentos e para as fontes de nitrogênio as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o software estatístico SISVAR® (Ferreira, 2011).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) no tempo de funcionamento de 200 h o nitrato de cálcio (NitCa) nitrato de potássio (NitK) e o sulfato

de amônio (SAm) não apresentaram diferença significativa (Figura 1). No tempo de funcionamento de 200 h a ureia apresentou uma diferença no CUE de 0,73, 0,87 e 0,56% para o nitrato de cálcio, nitrato de potássio, e o sulfato de amônio.

**Figura 1.** Coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) para as fontes de nitrogênio (Nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia)) e tempos de funcionamento. Médias com a mesma letra minúscula na coluna não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.



**Fonte:** Autores (2024).

Além dos fatores ambientais, a fonte de água e a realização de fertirrigação pode influenciar significativamente a uniformidade de aplicação, dessa maneira, verifica-se a necessidade de manutenção periódicas do sistema de irrigação (Drumond *et al.*, 2006; Kumar; Ashoka, 2020).

O coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) no tempo de funcionamento de 400 h para o nitrato de amônio e o sulfato de amônio, não apresentaram diferença significativa. No tempo de funcionamento de 400 h o maior CUE também foi verificado quando se utilizou para a fertirrigação a fonte de N de ureia seguido do nitrato de amônio e sulfato de amônio, nitrato de potássio, Nitrato de cálcio e nitrato de potássio. No tempo de funcionamento de 400 h a maior diferença no CUE foi verificada entre a fonte de N de ureia e nitrato de potássio, indicando uma diferença de aproximadamente 2%.

Cunha *et al.* (2014a) observaram que de maneira geral o CUC foi o que apresentou maior sensibilidade no que diz respeito à uniformidade, conseguindo identificar 62,5% dos distúrbios de vazões, seguido do CUE que distinguiram entorno de 56,25% das alterações ocorridas na vazão.

O coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) no tempo de funcionamento de 600 h para a ureia e o nitrato de amônio não apresentaram diferença significativa, logo para essas fontes de N foram verificados os melhores CUE (>93,75%). No tempo de funcionamento de 600 h o CUE verificado na fonte de N de sulfato de amônio foi 0,69 e 1,33% maior o do que CUE verificado na fonte de N de nitrato de cálcio e nitrato de potássio, respectivamente. Raphael *et al.* (2018) observaram um valor menor de uniformidade de aplicação, mas estes estavam localizados na mesma classe de

excelente com um coeficiente de uniformidade de 93%.

O coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) no tempo de funcionamento de 800 h para a ureia e o nitrato de amônio, não apresentaram diferença significativa, logo para essas fontes de N foram verificados os melhores CUE (>92,60%), também não foi verificado diferença significativa entre as fontes de N de nitrato de cálcio (NitCa) e nitrato de potássio (NitK). No tempo de funcionamento de 600 h o CUE verificado na fonte de N de ureia foi 2,00, 2,67 e 1,29% maior o do que CUE verificado na fonte de N de nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de potássio (NitK) e sulfato de amônio (SAm), respectivamente.

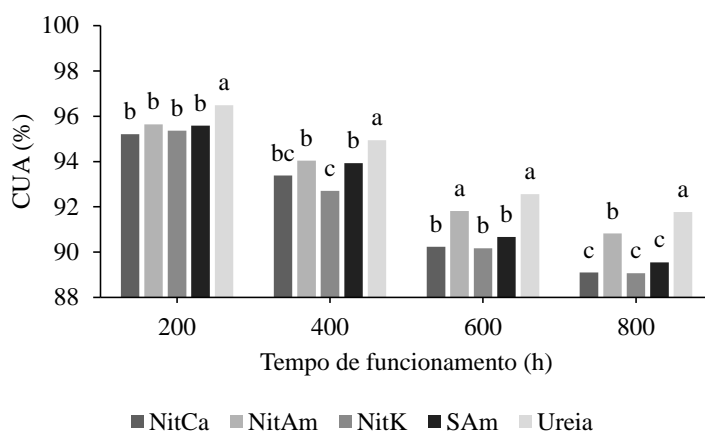
O uso de sistemas de irrigação com elevada eficiência de aplicação, possibilita melhor eficácia das práticas de fertirrigação e aplicação de defensivos (Nascimento; Feitosa; Soares, 2017).

A fonte de N de ureia e nitrato de amônio foram as que propiciaram os

melhores valores de CUE, praticamente em todos os tempos de funcionamento (200, 400, 600 e 800 h) onde apresentaram os maiores valores de uniformidade de aplicação de água (>90,82%), de maneira geral houver maior desuniformidade de distribuição quando foi utilizado o nitrato de potássio (NitK) na fertirrigação. Dariman *et al.* (2021) verificaram uma uniformidade de aplicação de água de um sistema de irrigação por gotejamento acima de 90%, que está na mesma faixa obtida neste estudo.

O coeficiente de uniformidade absoluto (CUA) no tempo de funcionamento de 200 h praticamente não apresentou diferenças significativas na uniformidade entre as fontes de N, sendo assim observado melhores valores no CUA, apenas em relação a fonte de N de ureia, a qual foi aproximadamente 1,30, 0,85, 1,13 e 0,91% maior que a fonte de N de nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK) e sulfato de amônio (SAm), respectivamente (Figura 2).

**Figura 2.** Coeficiente de uniformidade absoluto (CUA) para as fontes de nitrogênio (Nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia)) e tempos de funcionamento. Médias com a mesma letra minúscula na coluna não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.



Fonte: Autores (2024).

Os elevados valores do coeficiente de uniformidade obtidos indicam o bom desempenho do sistema de irrigação por

gotejamento sob aplicação de fertilizantes via água de irrigação (Geleta, 2019).

No tempo de funcionamento de 400 h a fonte de N de ureia apresentou um CUA 2,23% maior do que o verificado na fonte de N de nitrato de potássio, já o CUA neste tempo de funcionamento não apresentou diferença significativa entre as fontes de N de nitrato de amônio (NitAm) e sulfato de amônio (SAm).

A análise conjunta dos coeficientes de uniformidade é essencial para avaliar o desempenho de quaisquer sistemas de irrigação, evitando que haja problemas como subestimação ou superestimação do valor médio da uniformidade, garantindo um conhecimento mais profundo do sistema, reduzindo desperdícios e gastos (Cunha *et al.*, 2013; Rodrigues *et al.*, 2013; Alves *et al.*, 2022)

O CUA no tempo de funcionamento de 600 h para a ureia e o nitrato de amônio, não apresentaram diferença significativa, logo para essas fontes de N foram verificados os melhores CUA (>91,80%). O nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de potássio (NitK) e sulfato de amônio (SAm) também não apresentaram diferença significativa, indicando uma uniformidade de distribuição média de 90,36%.

Cunha *et al.* (2014a) verificaram que o CUA foi mais sensível quando o gotejador se encontrava em condição superficial e foi o que apresentou maior sensibilidade no que

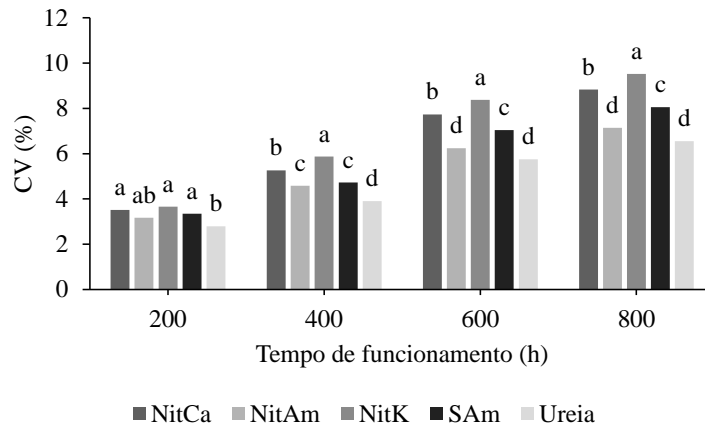
diz respeito à uniformidade, conseguindo identificar acima de 60% dos distúrbios de vazões.

O CUA no tempo de funcionamento de 800 h para a nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de potássio (NitK) e sulfato de amônio (SAm), não apresentaram diferença significativa, indicando uma uniformidade de distribuição média de 89,24%. No tempo de funcionamento de 800 h o CUA verificado na fonte de N de ureia foi aproximadamente 1,00% maior o do que CUA verificado na fonte de N de nitrato de amônio.

Resolver o problema de baixa uniformidade de aplicação de água é de extrema importância, porque os níveis de uniformidade nesta faixa podem produzir uma redução na produtividade das culturas (Contreras *et al.*, 2020).

O coeficiente de variação (CV) no tempo de funcionamento de 200 h para o nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de potássio (NitK) e sulfato de amônio (SAm), não apresentaram diferença significativa, indicando CV médio de 3,51%. No tempo de funcionamento de 200 h o CV verificado na fonte de N de ureia foi 0,73, 0,87 e 0,56% menor do que CV verificado na fonte de N de nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de potássio (NitK) e sulfato de amônio (SAm), respectivamente (Figura 3).

**Figura 3.** Coeficiente de variação (CV) para as fontes de nitrogênio (Nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia)) e tempos de funcionamento. Médias com a mesma letra minúscula na coluna não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.



**Fonte:** Autores (2024).

Os sistemas de irrigação localizada estão sujeitos a variações na vazão, principalmente devido ao entupimento dos gotejadores, prejudicando o funcionamento geral do sistema de irrigação, o que afeta suas características de operação e interfere na uniformidade de distribuição (Batista *et al.*, 2013; Veeranna; Mishra; Patel, 2017).

O coeficiente de variação (CV) no tempo de funcionamento de 400 h para o nitrato de amônio e sulfato de amônio, não apresentaram diferença significativa, indicando CV médio de 4,65%. No tempo de funcionamento de 400 h o CV verificado na fonte de N de ureia foi aproximadamente 1,40, 0,70, 2,00 e 0,83% menor do que CV verificado na fonte de N de nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK) e sulfato de amônio (SAm), respectivamente.

Valores de coeficiente de variação inferiores ou próximos a 10% indicam boa qualidade nos emissores do sistema de irrigação (Cararo, 2004; Alves *et al.*, 2022).

O coeficiente de variação (CV) no tempo de funcionamento de 600 h para a ureia e nitrato de amônio, não apresentaram diferença significativa, indicando CV médio de aproximadamente 6,00%. No tempo de funcionamento de 600 h o CV verificado na

fonte de N de ureia foi 1,98, 2,62 e 1,29% menor do que CV verificado na fonte de N de nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de potássio (NitK) e sulfato de amônio (SAm), respectivamente. O mesmo comportamento foi verificado para o CV no tempo de funcionamento de 800 h, sendo o menor CV verificado na fonte de N de ureia e nitrato de amônio, entre as quais não houve diferença significativa, indicando um CV médio de 6,84%.

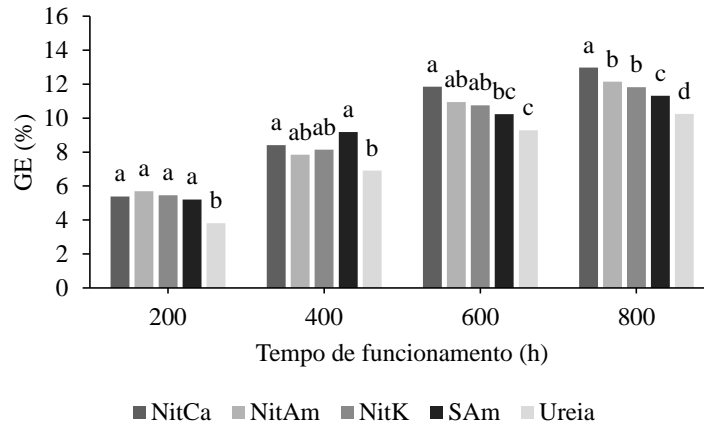
Alves *et al.* (2022) avaliando um sistema de irrigação localizada sob fertirrigação observou para a vazão relativa, coeficiente de variação da vazão e grau de entupimento, no tempo de operação inicial, as seguintes médias 8,44; 94,40 e 6,86%, respectivamente.

O grau de entupimento (GE) no tempo de funcionamento de 200 h para o nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK) e sulfato de amônio (SAm), não apresentaram diferença significativa, indicando CV médio de aproximadamente 5,50%. No tempo de funcionamento de 200 h o GE verificado na fonte de N de ureia foi 1,58, 1,89, 1,65 e 1,40% menor do que GE verificado na fonte de N de nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK)



e sulfato de amônio (SAm), respectivamente (Figura 4).

**Figura 4.** Grau de entupimento (GE) para as fontes de nitrogênio (Nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia)) e tempos de funcionamento. Médias com a mesma letra minúscula na coluna não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.



**Fonte:** Autores (2024).

A desuniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação por gotejamento devido ao entupimento do emissor e variação de vazão tornou-se um grande problema, limitando o uso generalizado de sistemas de irrigação por gotejamento (Cunha *et al.*, 2014b; Hakiruwizera *et al.*, 2024).

O grau de entupimento (GE) no tempo de funcionamento de 400 h para o nitrato de cálcio (NitCa) e sulfato de amônio (SAm), não apresentaram diferença significativa, indicando CV médio de aproximadamente 8,80%. No tempo de funcionamento de 400 h o GE verificado na fonte de N de ureia foi 1,50 e 2,27% menor do que GE verificado na fonte de N de nitrato de cálcio (NitCa) e sulfato de amônio (SAm), respectivamente. No tempo de funcionamento de 600 h o GE verificado na fonte de N de ureia foi aproximadamente 2,60% menor do que GE verificado na fonte de N de nitrato de cálcio (NitCa).

Veeranna, Mishra e Patel (2017) indicaram que o entupimento do emissor é um obstáculo severo para as amplas

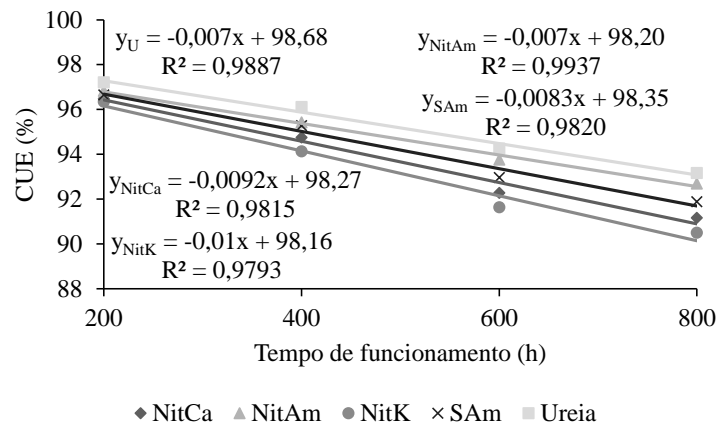
aplicações da tecnologia de irrigação por gotejamento.

O grau de entupimento (GE) no tempo de funcionamento de 800 h para o nitrato de amônio (NitAm) e nitrato de potássio (NitK), não apresentaram diferença significativa, indicando CV médio de aproximadamente 12%. No tempo de funcionamento de 800 h o GE verificado na fonte de N de ureia foi 2,73, 1,91, 1,58 e 1,07% menor do que GE verificado na fonte de N de nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK) e sulfato de amônio (SAm), respectivamente.

O entupimento pode ser parcial, reduzindo a uniformidade de aplicação, ou total, interrompendo por completo o funcionamento do sistema, causando sérios problemas às culturas (Cararo, 2004; Kumar; Ashoka, 2020).

O CUE se adequou a um modelo linear, com  $R^2$  médio de 98,50%, indicando que em média 1,50% das variações do CUE não são explicadas pela variação do tempo de funcionamento (Figura 5).

**Figura 5.** Coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) em função do tempo de funcionamento para nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia).



**Fonte:** Autores (2024).

Comparando o tempo de funcionamento de 200 e 800 h, observa-se reduções no CUE de aproximadamente 4,20, 4,20, 4,98, 5,52 e 6,00%, quando se utilizou na fertirrigação a fonte de N de ureia (Ureia), nitrato de amônio (NitAm), sulfato de amônio (SAm), nitrato de cálcio (NitCa) e nitrato de potássio (NitK), respectivamente.

O coeficiente de uniformidade de distribuição da água e a eficiência de aplicação são os principais parâmetros utilizados, pois expressam a qualidade da irrigação e são decisivos na operação desses sistemas (Oliveira; Villas Bôas, 2008; Gultekin *et al.*, 2022).

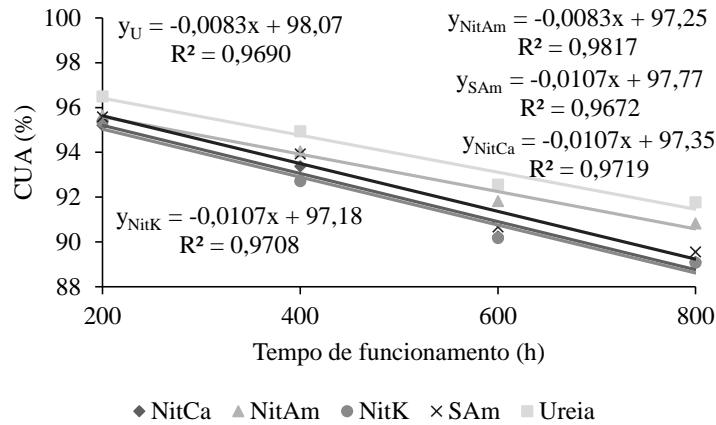
O CUE a cada aumento de 200 h no tempo de funcionamento demonstra um decréscimo de 1,40, 1,40, 1,66, 1,84 e 2,00%, quando aplicadas via água de

irrigação as fontes de N de ureia (Ureia), nitrato de amônio (NitAm), sulfato de amônio (SAm), nitrato de cálcio (NitCa) e nitrato de potássio (NitK), respectivamente.

Ao realizar a fertirrigação Sales e Sánchez-Román (2019) verificaram que mesmo após alguns cultivos, os gotejadores apresentam valores de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e coeficiente de uniformidade estatística (CUE), classificados como bons e na maioria, excelentes.

O CUA se adequou a um modelo linear, com R² médio de 97,21%, indicando que em média 2,79% das variações do CUA não são explicadas pela variação do tempo de funcionamento (Figura 6).

**Figura 6.** Coeficiente de uniformidade absoluto (CUA) em função do tempo de funcionamento para nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia).



**Fonte:** Autores (2024).

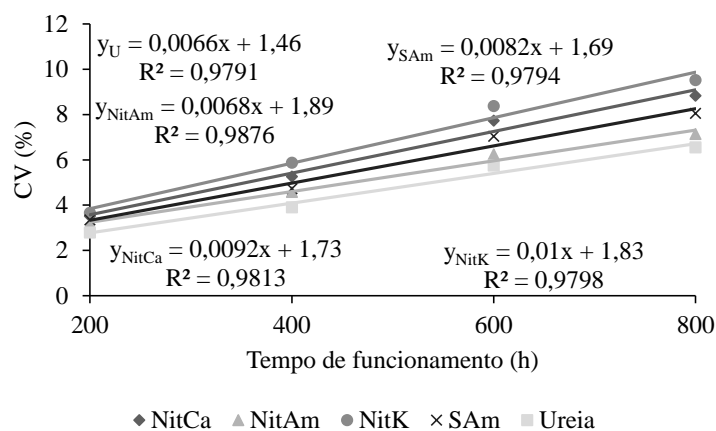
Comparando o tempo de funcionamento de 200 e 800 h, observa-se reduções no CUA de aproximadamente 4,98, 5,00, 6,42, 6,40 e 6,42%, quando se utilizou na fertirrigação a fonte de N de ureia (Ureia), nitrato de amônio (NitAm), sulfato de amônio (SAm), nitrato de cálcio (NitCa) e nitrato de potássio (NitK), respectivamente.

A uniformidade de aplicação dos fertilizantes pode ser influenciada pela variação da concentração da solução no tanque de mistura, uma vez que a mistura pode não ser homogênea, além disso o principal problema que pode surgir com a aplicação de fertilizante é o entupimento que tem alto impacto sobre a uniformidade de aplicação (Rolston; Miller; Schulbach, 1986; Burt; O'Connor; Ruehr, 1995; Cunha *et al.*, 2014b).

O CUA a cada aumento de 200 h no tempo de funcionamento demonstra um decréscimo de 1,66, 1,68, 2,14, 2,12 e 2,14%, quando aplicadas via água de irrigação as fontes de N de ureia (Ureia), nitrato de amônio (NitAm), sulfato de amônio (SAm), nitrato de cálcio (NitCa) e nitrato de potássio (NitK), respectivamente. A causa provável da diminuição da uniformidade de aplicação de água são as perdas ou variações de pressão, mas mais provavelmente, estão relacionadas ao entupimento parcial dos emissores por silte e argila, algas ou precipitados químicos (Hakiruwizera *et al.*, 2024).

O CV se adequou a um modelo linear, com R<sup>2</sup> médio de 98,14%, indicando que em média 1,86% das variações do CV não são explicadas pela variação do tempo de funcionamento (Figura 7).

**Figura 7.** Coeficiente de variação (CV) em função do tempo de funcionamento para nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia).



**Fonte:** Autores (2024).

Comparando o tempo de funcionamento de 200 e 800 h, observa-se incrementos no CV de aproximadamente 3,96, 4,08, 4,92, 5,52 e 6,00%, quando se utilizou na fertirrigação a fonte de N de ureia (Ureia), nitrato de amônio (NitAm), sulfato de amônio (SAm), nitrato de cálcio (NitCa) e nitrato de potássio (NitK), respectivamente.

O CV apresenta elevada sensibilidade a valores altamente discrepantes, no caso a vazão nula, sendo um importante parâmetro de identificação de entupimento parcial e total dos emissores (Faria; Coelho; Resende, 2004; Sales; Sánchez-Román, 2019).

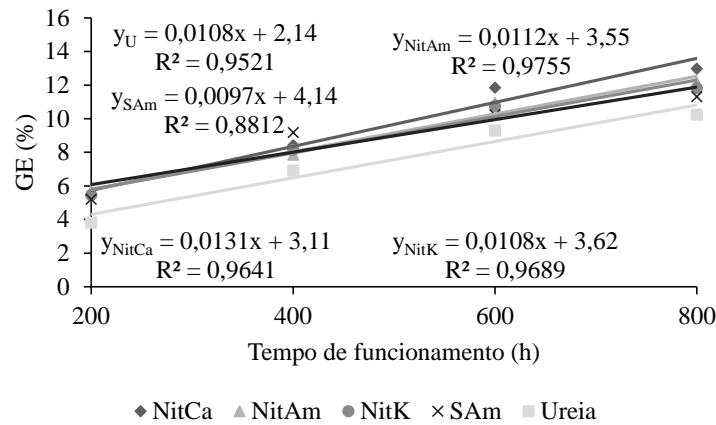
O CV a cada aumento de 200 h no tempo de funcionamento demonstra um acréscimo de 1,32, 1,36, 1,64, 1,84 e 2,00%,

quando aplicadas via água de irrigação as fontes de N de ureia (Ureia), nitrato de amônio (NitAm), sulfato de amônio (SAm), nitrato de cálcio (NitCa) e nitrato de potássio (NitK), respectivamente.

Um sistema de irrigação localizada bem projetado permite que se obtenha uma uniformidade de distribuição de água acima de 90%, entretanto, com o seu intensivo uso, verifica-se uma redução na uniformidade de distribuição e um aumento na variação da vazão, ao longo do tempo (Teixeira, 2006; Contreras *et al.*, 2020).

O GE se adequou a um modelo linear, com R<sup>2</sup> médio de 94,84%, indicando que em média 5,16% das variações do GE não são explicadas pela variação do tempo de funcionamento (Figura 8).

**Figura 8.** Grau de entupimento (GE) em função do tempo de funcionamento para nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia).



**Fonte:** Autores (2024).

Comparando o tempo de funcionamento de 200 e 800 h, observa-se incrementos no GE de aproximadamente 6,48, 6,72, 5,82, 7,86 e 6,48%, quando se utilizou na fertirrigação a fonte de N de ureia (Ureia), nitrato de amônio (NitAm), sulfato de amônio (SAm), nitrato de cálcio (NitCa) e nitrato de potássio (NitK), respectivamente. Os resultados obtidos de grau de entupimento corroboram com os obtidos por alguns autores, que atribuem como causa do entupimento dos gotejadores a formação de precipitados químicos, o que consequentemente reduz a vazão de água aplicada (Nascimento, 2015; Hakiruwizera *et al.*, 2024).

O GE a cada aumento de 200 h no tempo de funcionamento demonstra um acréscimo de 2,16, 2,24, 1,94, 2,62 e 2,16%, quando aplicadas via água de irrigação as fontes de N de ureia (Ureia), nitrato de amônio (NitAm), sulfato de amônio (SAm), nitrato de cálcio (NitCa) e nitrato de potássio (NitK), respectivamente.

## 6 CONCLUSÕES

A máxima desuniformidade de aplicação de água para as fontes de N de nitrato de cálcio, nitrato de amônio, nitrato

de potássio, sulfato de amônio e ureia, é verificada no maior tempo de funcionamento (800 h), indicando decréscimos de até 2,14% para cada aumento de 200 h no tempo de funcionamento.

O maior grau de entupimento dos gotejadores é verificado em ordem decrescente para a fonte de N de nitrato de cálcio, nitrato de amônio, nitrato de potássio, sulfato de amônio e ureia.

Os maiores distúrbios de vazão são observados nas fontes de N de nitrato de potássio, nitrato de cálcio e sulfato de amônio, que apresentam coeficiente de variação acima de 8,00%.

## 7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), ao Centro de Excelência em Agro Exponencial (CEAGRE) e ao Instituto Federal Goiano (IF Goiano), pelo

apoio financeiro e estrutural para a condução deste estudo.

## 8 REFERÊNCIAS

- ALVES, D. K. M.; TEIXEIRA, M. B.; CUNHA, F. N.; CABRAL FILHO, F. R. Avaliação de gotejadores com uso de água residuária de piscicultura e suinocultura em diferentes diluições. **Irriga**, Botucatu, v. 27, n. 2, p. 282-295, abr./jun., 2022.
- BANJARE, C.; SINHA, J. Hydraulic performance of existing drip irrigation system and effect of used plastic based mulching system on Rabi onion (*Allium cepa*). **International Journal of Chemical Studies**, New Delhi, v. 9, n. 1, p. 3200-3205, 2021.
- BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, D. B.; MESQUITA, F. O.; SILVA, K. B. Suscetibilidade ao entupimento de gotejadores operando com água residuária de suinocultura. **Water Resources and Irrigation Management**, Cruz das Almas, v. 2, n. 1, p. 19-25, 2013.
- BORSSOI, A. L.; VILAS BOAS, M. A.; REISDÖRFER, M.; HERNÁNDEZ, R. H.; FOLLADOR, F. A. C. Water application uniformity and fertigation in a dripping irrigation set. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 718-726, 2012.
- BURT, C.; O'CONNOR, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: Irrigation Training and Research Center, Califonia Polytechnic State University, 1995.
- CARARO, D. C. **Manejo de irrigação por gotejamento para aplicação de água residuária visando a minimização do entupimento de emissores**. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, p. 1-149, 2004.
- COELHO, A. P.; ZANINI, J. R.; FILLA, V. A.; DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F. Uniformidade de aplicação de água para sistema de pivô central e para o aspersor super 10. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 11, n. 2, p. 95-99, maio/ago. 2018.
- COELHO, R. D. **Contribuição para irrigação pressurizada no Brasil**. 2007. Tese (Livre-Docência junto ao Departamento de Engenharia Rural) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- CONTRERAS, J. I.; BAEZA, R.; ALONSO, F.; CÁNOVAS, G.; GAVILÁN, P.; LOZANO, D. Effect of distribution uniformity and fertigation volume on the bio-productivity of the greenhouse zucchini crop. **Water**, Basel, v. 12, n. 8, p. 1-15, 2020.
- CUNHA, F. N.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, N. F.; MOURA, L. M. F.; TEIXEIRA, M. B.; GOMES FILHO, R. R. Variabilidade temporal da uniformidade de distribuição em sistema de gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 7, n. 4, p. 248-257, 2013.
- CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; CARVALHO, J. J.; MOURA, L. M. F.; SANTOS, C. C. Coeficientes de uniformidade em sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 8, n. 1, p. 444-454, 2014a.
- CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; RIBEIRO, P. H.; MOURA, L. M. F.; SANTOS, C. C. Repetibilidade de um sistema de irrigação por gotejamento sob entupimento. **Revista Brasileira de**

- Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 8, n. 1, p. 343-353, 2014b.
- DARIMAN, H.; KPODA, N.; SULEMAN, S. M.; LUUT, A. Field performance evaluation of a smallscale drip irrigation system installed in the upper west region of Ghana. **Computational Water, Energy, and Environmental Engineering**, Glendale, v. 10, n. 2, p. 82-94, 2021.
- DRUMOND, L. C. D.; ZANINI, J. R.; FERNANDES, A. L. T.; RODRIGUES, G. P. Uniformidade de distribuição superficial e subsuperficial de água e de água residuária de suinocultura com irrigação por aspersão em malha. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 415-425, 2006.
- FARIA, L. F.; COELHO, R. D.; RESENDE, R. S. Variação de vazão de gotejadores de fluxo normal enterrados na irrigação de café. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 589-602, 2004.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. In: VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E. (ed.). **Fertilizantes fluidos**. Piracicaba: Potafos, 1994. p. 227-260.
- GELETA, C. D. Analyzing water application uniformity of hose-move sprinkler irrigation system. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, Wigan, v. 19, n. 1, p. 1-10, 2019.
- GULTEKIN, R.; GORGISEN, C.; KARACA BILGEN, G.; BAHCECI ASLAN, P.; YETER, T. Evaluation of performance indicators for some drip irrigation systems used in cherry orchards in Ankara province. **Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences**, Diyarbakir, v. 6, n. 1, p. 172-181, 2022.
- HAKIRUWIZERA, E.; HATUNGIMANA, C. J.; MUTANGANA, D.; MANISHIMWE, J. C.; IGIRIMBABAZI, A. Performance evaluation of a drip irrigation system inside the automated greenhouse in huye ecological condition. **Middle East Research Journal of Agriculture and Food Science**, Al-Farwaniya v. 4, n. 1, p. 26-33, 2024.
- HERNANDEZ, F. B. T. **Manejo da irrigação por pivô central na cultura do milho**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24., 1994, Viçosa, MG. **Anais [...]**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1994. v. 1, n. 1, p. 1-13.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.
- KUMAR, A. H.P.; ASHOKA, H.G. Study on hydraulic performance of drip irrigation system under field condition. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, Tamilnadu, v. 9, n. 2, p. 626-633, 2020.
- NASCIMENTO, R. C. **Dinâmica da obstrução de emissores tipo gotejador oriundos do Vale do São Francisco**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, p. 1-59, 2015.
- NASCIMENTO, V. F.; FEITOSA, E. O.; SOARES, J. I. Uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por aspersão via pivô central. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, n. 4, p. 65-69, dez. 2017.

- OLIVEIRA, M. V. A. M.; VILLAS BÔAS R. L. Uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistema de irrigação por gotejamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 95-103, 2008.
- PAULINO, M. A. O.; FIGUEIREDO, F. P.; FERNANDES, R. C.; MAIA, J. T. L. S.; GUILHERME, D. O.; BARBOSA, F. S. Avaliação da uniformidade e eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão convencional. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 3, n. 2, p. 48-54, 2009.
- RAPHAEL, O. D; AMODU, M. F; OKUNADE, D. A; ELEMILE, O. O; GBADAMOSI A. A. Field Evaluation of gravity-fed surface drip irrigation systems in a sloped greenhouse. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, Tamilnadu, v. 9, n. 10, p. 536-548, 2018.
- REZENDE, R.; GONÇALVES, A. C. A.; FREITAS, P. S. L.; FRIZZONE, J. A.; TORMENA, C. A.; BERTONHA, A. Influência da aplicação de água na uniformidade da umidade no perfil do solo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1553-1559. 2002.
- RIBEIRO, T. A. P.; AIROLDI, R. P. S.; PARTENIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M. Efeito da qualidade da água na perda de carga em filtros utilizados na irrigação localizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 9, p. 1-6, 2005.
- RODRIGUES, R. R.; COLA, M. P. A.; NAZÁRIO, A. A.; AZEVEDO, J. M. G.; REIS, E. F. Eficiência e uniformidade de um sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Ambiência**, Guarapuava, v. 9, n. 2, p. 323-334. 2013.
- ROLSTON, D. E.; MILLER, R. J.; SCHULBACH, H. Management principles-fertilization. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crops production, developments in agricultural engineering**. Amsterdam: Elsevier, 1986. p. 317-344.
- 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, 2019.
- SALGADO, S. Z.; MORALES, F. A. B.; RAMÍREZ, J. G. L.; ESPINOZA, F. H. R. Avaliando o coeficiente de uniformidade de um sistema central de pivô. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 2385-2390, abr./jun. 2021.
- SILVA, C. A.; SILVA, C. J. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista científica eletrônica de agronomia**, Garça, n. 8, p. 1-17, 2005.
- SINHA, B. L.; SHASIKANT. Hydraulic performance evaluation of drip irrigation system under field condition in Chhattisgarh plain. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, New Delhi, v. 10, n. 2, p. 79-83, 2021.
- SOUSA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011.
- SOUZA, L. O. C.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A.; RAMOS, M. M.; FREITAS, P. S. L. Avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento, utilizados na cafeicultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**,



Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 541-548, 2006.

TEIXEIRA, M. B. **Efeitos de dosagens extremas de cloro e pH na vazão de gotejadores autocompensantes (irrigação localizada)**. 2006. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2006.

VEERANNA, J.; MISHRA, A. K.; PATEL, N. Calculation of uniform coefficient, soil

moisture distribution and analysis of level of biofilms strategy under sub surface drip irrigation. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, Tamilnadu, v. 6, n. 10, p. 713-726, 2017.

VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E.; PENTEADO, S. R. Fertilizantes e fertirrigação. *In*: VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E. (ed.). **Fertilizantes fluidos**. Piracicaba: Potafos, p. 262-281, 1994.