

AValiação da Funcionalidade e Rendimento de Gotejadores Irrigando com Água Enriquecida com Macro e Micronutrientes

FERNANDO NOBRE CUNHA¹; GABRIELA NOBRE CUNHA²; MARCONI BATISTA TEIXEIRA¹; JACYR LORA¹; NELMÍCIO FURTADO DA SILVA¹; WENDSON SOARES DA SILVA CAVALCANTE¹

¹*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, jacyrlora@gmail.com, nelmiciofurtado@gmail.com, wendsonbfsoarescv@gmail.com; ORCID (https://orcid.org/0000-0001-8489-7625, https://orcid.org/0000-0002-0152-256X, https://orcid.org/0000-0002-7361-5968, https://orcid.org/0000-0001-7055-8075, https://orcid.org/0000-0002-5224-5486).*

²*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; ORCID (https://orcid.org/0000-0002-9253-8339).*

1 RESUMO

A uniformidade de distribuição é uma informação importante para a avaliação de sistemas de irrigação localizada, como para o acompanhamento do desempenho da irrigação. Objetivou-se avaliar desempenho de gotejadores submetido a aplicação de água com presença de macro e micronutrientes. O experimento foi realizado em uma casa de vegetação instalada na área experimental do IFGoiano – Campus Rio Verde. O delineamento experimental utilizado é em blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial 3×4 , com três repetições; sendo o tratamento 1 (molibdato de amônio, cloreto de magnésio e sulfato de amônio), o tratamento 2 (nitrato de cálcio, ácido bórico e sulfato de zinco) e o tratamento 3 (sulfato de cobre, cloreto de manganês e sulfato de ferro) e quatro tempos de funcionamento (200, 400, 600 e 800 h). Foi utilizado um modelo de tubo gotejador com vazão nominal de $2,3 \text{ L h}^{-1}$, diâmetro nominal 16 mm, pressão de operação 100 a 350 kPa e espaçamento entre emissores de 0,5 m. Depois de tabulados os dados de vazão, foram determinados os coeficientes de uniformidade e o coeficiente de variação de vazão. Os distúrbios de vazão dos gotejadores são mais acentuados quando sob aplicação de sulfato de cobre, cloreto de manganês e sulfato de ferro.

Palavras-chave: ácido bórico, sulfato de zinco, vazão

CUNHA, F. N.; CUNHA, G. N.; TEIXEIRA, M. B.; LORA, J.; SILVA, N. F.; CAVALCANTE, W. S. S.

EVALUATION OF THE FUNCTIONALITY AND PERFORMANCE OF DRIPPERS IRRIGATING WITH WATER ENRICHED WITH MACRO AND MICRONUTRIENTS

2 ABSTRACT

Distribution uniformity is important information for evaluating localized irrigation systems, as well as for monitoring irrigation performance. The objective of this study was to evaluate the

performance of drippers submitted to the application of water with presence of macro and micronutrients. The experiment was realized in a greenhouse located in the experimental area of the IFGoiano - Rio Verde Campus. The experimental design used randomized block, analyzed in factorial scheme 3×4 , with three replications; with treatment 1 (ammonium molybdate, magnesium chloride and ammonium sulfate), treatment 2 (calcium nitrate, boric acid and zinc sulphate) and treatment 3 (copper sulphate, manganese chloride and iron sulphate) and four operating times (200, 400, 600 and 800 h). Used a drip tube model with nominal flow of 2.3 L h^{-1} , nominal diameter 16 mm, operating pressure 100 to 350 kPa and spacing between emitters of 0.5 m. After tabulating the flow data, were determined the coefficient of uniformity and the coefficient of variation of flow. The flow disturbances of the drippers are more pronounced when under the application of copper sulphate, manganese chloride and iron sulphate.

Keywords: boric acid, zinc sulphate, flow

3 INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada apresenta uma das grandes estratégias para a obtenção da produção mundial de alimentos, além disso mais da metade da população mundial é dependente de alimentos produzidos em áreas irrigadas, ressalta-se que a irrigação apresenta diversos benefícios, como aspectos sociais e ecológicos, melhora a eficiência no uso da água e da energia, mantendo as condições favoráveis de umidade do solo para que a planta tenha um bom desenvolvimento (Paz; Teodoro; Mendonça, 2000; Mantovani; Bernardo; Palaretti, 2009; Andrade *et al.*, 2022). Sistemas de irrigação localizada é uma resposta para necessidade de se procurar novos sistemas de irrigação que sejam eficientes, que reduzam o consumo dos recursos hídricos e sobretudo, que minimizem os problemas de escassez de água (Faria; Coelho; Resende, 2004; Lopes *et al.*, 2021).

Visando avaliar o funcionamento ideal do sistema de irrigação localizada, emprega-se um índice de avaliação denominado de uniformidade de aplicação de água, esse índice caracteriza um sistema de irrigação em função da diferença de volume de água aplicado pelos emissores ao longo das linhas laterais, cabe destacar que a

uniformidade de aplicação de água tem efeito no rendimento de culturas e é considerada como um dos fatores mais importantes no dimensionamento e operação em sistemas de irrigação (Barreto Filho *et al.*, 2000; Elhussiny *et al.*, 2023).

A uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação localizada pode ser avaliada seguindo algumas metodologias que consistem em caracterizar a vazão dos gotejadores nas linhas laterais dentro de uma parcela irrigada (Keller; Karmeli, 1975; Cunha *et al.*, 2018).

A uniformidade de distribuição é uma informação importante para a avaliação de sistemas de irrigação localizada, tanto na fase de projeto como no acompanhamento do desempenho após a implantação, pois é uma etapa relevante para a obtenção das informações relacionadas à eficiência de uso da água do sistema de irrigação e do funcionamento real do sistema (Favetta; Botrel, 2001; Mantovani; Bernardo; Palaretti, 2009; Lopes *et al.*, 2020).

A qualidade da água utilizada na agricultura irrigada é de fundamental importância para o desempenho dos sistemas de irrigação e seus componentes, pois pode causar sérios problemas desde saís no perfil do solo, entupimento de tubulações e emissores pelo depósito de partículas inorgânicas tendo como consequência

irrigações desuniformes e queda na sua eficiência (Frigo *et al.*, 2006; Blum, 2003; Mohamed *et al.*, 2019). Portanto objetivou-se, assim avaliar desempenho de gotejadores submetido a aplicação de água com presença de macro e micronutrientes.

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 foi em blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial 3 × 4, com três repetições; sendo o tratamento 1 (molibdato de amônio, cloreto de magnésio e sulfato de amônio), o tratamento 2 (nitrato de cálcio, ácido bórico e sulfato de zinco) e o tratamento 3 (sulfato de cobre, cloreto de manganês e sulfato de ferro) e quatro tempos de funcionamento (200, 400, 600 e 800 h).

Foram aplicadas via fertirrigação as seguintes quantidades no tratamento 1: 0,12 g/1000 L de molibdato de amônio, 200 g/1000 L de cloreto de magnésio e 200 g/1000 L de sulfato de amônio; no tratamento 2: 900 g/1000 L de nitrato de cálcio, 1,9 g/1000 L de ácido bórico e 1,15 g/1000 L de sulfato de zinco; no tratamento 3: 0,12 g/1000 L de sulfato de cobre, 4 g/1000 L de cloreto de manganês e 400

g/1000 L de sulfato de ferro. O sistema de irrigação possuía sistema de filtragem equipado com filtro de disco de 100 mesh para a retirada de partículas sólidas que porventura pudessem entrar no sistema.

Foi utilizado um tubo gotejador com vazão nominal de 2,3 L h⁻¹, diâmetro nominal 16 mm, pressão de operação 100 a 350 kPa e espaçamento entre emissores de 0,5 m e o comprimento de cada linha de tubos gotejadores foi de 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 necessária, ajustada àquela pré-estabelecida. Para isso, foi utilizado um manômetro de Bourdon com faixa de leitura de 0 - 4 Kgf cm⁻². 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 foi em torno de 1 h como forma de garantir uma melhor aplicação dos fertilizantes, 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.

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 do coeficiente de uniformidade de distribuição

(CUD), coeficiente de uniformidade de Hart (CUH), eficiência padrão da HSPA (UDH) e do coeficiente de variação de vazão (CV), conforme as equações 1 a 4.

$$CUD = 100 \left(\frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \right) \quad (1)$$

$$CUH = 100 \left\{ 1 - \sqrt{\frac{2}{\pi} \left(\frac{S}{\bar{X}} \right)} \right\} \quad (2)$$

$$UDH = 100 \left(1 - 1,27 \frac{S}{\bar{X}} \right) \quad (3)$$

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} 100 \quad (4)$$

Em que:

CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição, em %;

CUH - coeficiente de uniformidade de Hart, em %;

UDH - eficiência padrão da HSPA, em %;

CV – coeficiente de variação de vazão, %;

$X_{25\%}$ - média de 25% do total de gotejadores, com as menores vazões, em L h⁻¹;

X_i - vazão de cada gotejador, em L h⁻¹;

\bar{X} - vazão média dos gotejadores, em L h⁻¹;
 S – desvio padrão da vazão dos gotejadores usados, L h⁻¹;

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 funcionamento, e as médias dos tratamentos com fertirrigação 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 de distribuição (CUD) no tempo de funcionamento de 200 h não apresentou diferença significativa entre os tratamentos para a uniformidade (Tabela 1). Considerando o tempo de funcionamento inicial da fertirrigação de nutrientes em um sistema de irrigação localizada por gotejamento, verificou-se que não houve diferença estatística quanto à uniformidade de distribuição (Magalhães; Texeira; Ferreyra, 1996; Andrade *et al.*, 2022).

Tabela 1. Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) em diferentes tempos de funcionamento

Tratamentos	Tempo de funcionamento (h)			
	200	400	600	800
T1	96,71 a	93,90 b	89,30 b	88,24 b
T2	97,31 a	96,51 a	91,44 a	90,04 a
T3	96,47 a	92,72 c	87,19 c	86,97 c

¹Tratamento 1: molibdato de amônio, cloreto de magnésio e sulfato de amônio; Tratamento 2: nitrato de cálcio, ácido bórico e sulfato de zinco; e o Tratamento 3: sulfato de cobre, cloreto de manganês e sulfato de ferro. Médias com a mesma letra minúscula na coluna não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

No tempo de funcionamento de 400 h o tratamento 3 apresentou o menor CUD, indicando uma diferença de 1,2 e 3,8%, para os tratamentos 1 e 2, respectivamente; já

entre os tratamentos 1 e 2, verificou-se uma diferença de 2,6%.

A distribuição de água de um sistema de irrigação depende principalmente do tempo de funcionamento, qualidade da água,

espaçamento, tipo, tamanho, projeto interno e pressão de trabalho dos emissores (Zhu *et al.*, 2015; Araújo *et al.*, 2020).

No tempo de funcionamento de 600 h o tratamento 2 apresentou o maior CUD, indicando uma diferença de 2,1 e 4,2%, para os tratamentos 1 e 3, respectivamente; já entre os tratamentos 1 e 3, observou-se uma diferença de 2,1%. No tempo de funcionamento de 800 h o tratamento 1 apresentou um CUD intermediário, indicando uma diferença de 1,8 e 1,3%, para os tratamentos 2 e 3, respectivamente; já entre os tratamentos 2 e 3, verificou-se uma diferença de 3,1%.

A fertirrigação, as variações no tempo de funcionamento e perdas de pressão têm um efeito importante na variação no

fluxo dos gotejadores na irrigação porque as cargas de pressão de operação dos gotejadores são baixas (Frizzone *et al.*, 2012; Lopes *et al.*, 2020).

O coeficiente de uniformidade de Hart (CUH) no tempo de funcionamento de 200 h apresentou diferença significativa entre todos os tratamentos, com destaque para o tratamento 2 onde foi verificada a maior uniformidade, sendo está de aproximadamente 88% (Tabela 2). No tempo de funcionamento de 400 h o tratamento 3 apresentou o menor CUH, indicando uma diferença de 3 e 6,7%, para os tratamentos 1 e 2, respectivamente; já entre os tratamentos 1 e 2, verificou-se uma diferença de 3,7%.

Tabela 2. Coeficiente de uniformidade de Hart (CUH) em diferentes tempos de funcionamento

Tratamentos	Tempo de funcionamento (h)			
	200	400	600	800
T1	86,93 b	82,74 b	77,12 b	75,22 b
T2	88,30 a	86,42 a	79,10 a	77,30 a
T3	84,73 c	79,71 c	74,24 c	72,33 c

¹Tratamento 1: molibdato de amônio, cloreto de magnésio e sulfato de amônio; Tratamento 2: nitrato de cálcio, ácido bórico e sulfato de zinco; e o Tratamento 3: sulfato de cobre, cloreto de manganês e sulfato de ferro. Médias com a mesma letra minúscula na coluna não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

A uniformidade de distribuição do sistema de irrigação tem efeito no rendimento das culturas, sendo considerada um dos fatores mais importantes na operação de sistemas de irrigação (Bernardo; Soares; Mantovani, 2006; Elhussiny *et al.*, 2023).

No tempo de funcionamento de 600 h o tratamento 2 apresentou o maior CUH, indicando uma diferença de 1,9 e 4,9%, para os tratamentos 1 e 3, respectivamente; já entre os tratamentos 1 e 3, observou-se uma diferença de 2,9%.

No tempo de funcionamento de 800 h o tratamento 1 apresentou um CUH intermediário, indicando uma diferença de 2,1 e 2,9%, para os tratamentos 2 e 3, respectivamente; já entre os tratamentos 2 e 3, verificou-se uma diferença de 4,97%.

Normalmente valores reduzidos de uniformidade ocasionam maiores consumos de energia e água além de grandes perdas de nutrientes por deflúvio superficial, percolação profunda e simultaneamente apresenta plantas com déficit hídrico (Martins *et al.*, 2011; Andrade *et al.*, 2022).

A eficiência padrão da HSPA (UDH) no tempo de funcionamento de 200 h não apresentou diferença significativa entre os tratamentos 1 e 2, os quais foram 1,2% maior do que o tratamento 3 (Tabela 3). No tempo de funcionamento de 400 h o tratamento 3 apresentou o menor UDH, indicando uma diferença de 2,3 e 4,5%, para os tratamentos 1 e 2, respectivamente; já entre os tratamentos 1 e 2, verificou-se uma diferença de 2,27%.

Tabela 3. Eficiência padrão da HSPA (UDH) em diferentes tempos de funcionamento

Tratamentos	Tempo de funcionamento (h)			
	200	400	600	800
T1	96,59 a	94,05 b	89,55 b	87,75 b
T2	97,27 a	96,32 a	91,28 a	89,72 a
T3	95,35 b	91,79 c	86,76 c	84,72 c

¹Tratamento 1: molibdato de amônio, cloreto de magnésio e sulfato de amônio; Tratamento 2: nitrato de cálcio, ácido bórico e sulfato de zinco; e o Tratamento 3: sulfato de cobre, cloreto de manganês e sulfato de ferro. Médias com a mesma letra minúscula na coluna não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Entre as diversas causas que afetam a uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação, atenção especial deve ser dada à pressão de trabalho, tempo de funcionamento e a fertirrigação (Li; Bai; Yan, 2015; Araújo *et al.*, 2020).

No tempo de funcionamento de 600 h o tratamento 2 apresentou o maior UDH, indicando uma diferença de 1,7 e 4,5%, para os tratamentos 1 e 3, respectivamente; já entre os tratamentos 1 e 3, observou-se uma diferença de 2,8%.

Cunha *et al.* (2014a) verificaram que os resultados de uniformidade de aplicação de água do método de eficiência padrão da HSPA (UDH) e do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) demonstram maior variação ao longo dos ensaios.

No tempo de funcionamento de 800 h o tratamento 1 apresentou um UDH intermediário, indicando uma diferença de 1,9 e 3%, para os tratamentos 2 e 3, respectivamente; já entre os tratamentos 2 e 3, verificou-se uma diferença de 5%.

O coeficiente de variação de vazão (CV) no tempo de funcionamento de 200 h não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, apresentando um CV médio de 2,8% (Tabela 4). No tempo de funcionamento de 400 h o tratamento 3 apresentou o maior CV, indicando uma diferença de 1,79 e 3,57%, para os tratamentos 1 e 2, respectivamente; já entre os tratamentos 1 e 2, verificou-se uma diferença de 1,78%.

Tabela 4. Coeficiente de variação de vazão (CV) em diferentes tempos de funcionamento

Tratamentos	Tempo de funcionamento (h)			
	200	400	600	800
T1	2,68 a	4,68 b	8,23 b	9,64 b
T2	2,15 a	2,90 a	6,87 a	8,10 a
T3	3,66 a	6,47 c	10,43 c	12,03 c

¹Tratamento 1: molibdato de amônio, cloreto de magnésio e sulfato de amônio; Tratamento 2: nitrato de cálcio, ácido bórico e sulfato de zinco; e o Tratamento 3: sulfato de cobre, cloreto de manganês e sulfato de ferro. Médias com a mesma letra minúscula na coluna não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Para não prejudicar a uniformidade de distribuição de água a variação da vazão deve ser inferior a 10% em todo o sistema de irrigação (Keller; Karmeli, 1975; Lopes *et al.*, 2021).

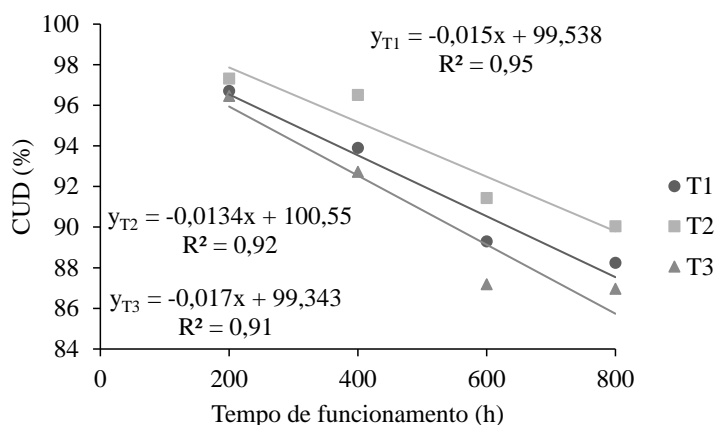
No tempo de funcionamento de 600 h o tratamento 2 apresentou o menor CV, indicando uma diferença de 1,36 e 3,56%, para os tratamentos 1 e 3, respectivamente; já entre os tratamentos 1 e 3, verificou-se uma diferença de 2,2%. No tempo de

funcionamento de 800 h o tratamento 1 apresentou um CV intermediário, indicando uma diferença de 1,55 e 2,39%, para os tratamentos 2 e 3, respectivamente; já entre os tratamentos 2 e 3, verificou-se uma diferença de 3,93%.

Quando um sistema de irrigação por gotejamento é usado, há um aumento acumulativo na variação de sua vazão, o que afeta sua uniformidade (Silva *et al.*, 2015; Mohamed *et al.*, 2019).

O CUD em função do tempo de funcionamento se adequou ao modelo linear para o tratamento 1, 2 e 3, com R^2 acima de 91% (Figura 1). A Figura 1 apresenta o comportamento da uniformidade de aplicação para cada tratamento em função do tempo de funcionamento. Levando em consideração o tempo de funcionamento de 200 e 800 h, observa-se reduções no CUD de aproximadamente 9, 8 e 10,2%, quando utilizou-se na fertirrigação o tratamento 1, 2 e 3, respectivamente.

Figura 1. Coeficiente de uniformidade de distribuição em função dos tempos de funcionamento para o Tratamento 1 (molibdato de amônio, cloreto de magnésio e sulfato de amônio), Tratamento 2 (nitrato de cálcio, ácido bórico e sulfato de zinco) e o Tratamento 3 (sulfato de cobre, cloreto de manganês e sulfato de ferro).



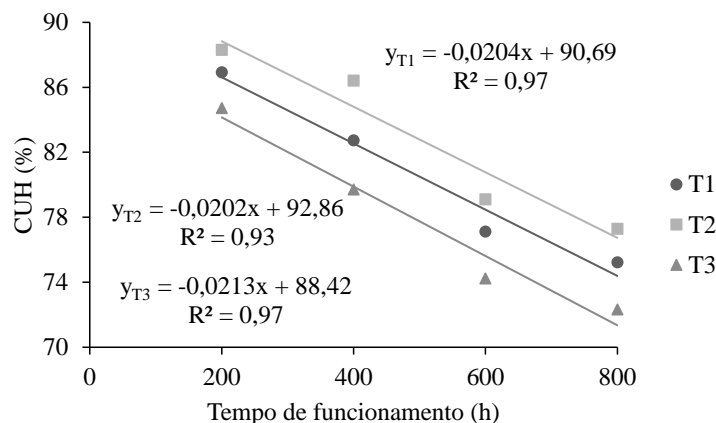
Alguns autores consideram o CUD o mais rigoroso para a avaliação em campo de sistema de irrigação, entretanto mesmo sendo o CUD mais rigoroso, este não identifica de maneira adequada os distúrbios de vazão (Keller; Karmeli, 1974; Cunha *et al.*, 2014b).

O CUD a cada aumento de 200 h no tempo de funcionamento demonstra um decréscimo de 3, 2,7 e 3,4%, quando aplicado via água de irrigação o Tratamento 1 (molibdato de amônio, cloreto de magnésio e sulfato de amônio), Tratamento 2 (nitrato de cálcio, ácido bórico e sulfato de zinco) e o Tratamento 3 (sulfato de cobre, cloreto de manganês e sulfato de ferro), respectivamente. Em áreas sob fertirrigação

com diferentes cargas hidráulicas, há variações marcantes na pressão do sistema, causando as diferenças de vazão, que reduzem a uniformidade (Lima *et al.*, 2003; Lopes *et al.*, 2020).

O CUH em função do tempo de funcionamento se adequou ao modelo linear para o tratamento 1, 2 e 3, com R^2 de até 97% (Figura 2). A Figura 2 apresenta o comportamento da uniformidade de aplicação para cada tratamento em função do tempo de funcionamento. Levando em consideração o tempo de funcionamento de 200 e 800 h, observa-se reduções no CUH de aproximadamente 12,2, 12,1 e 12,8%, quando utilizou-se na fertirrigação o tratamento 1, 2 e 3, respectivamente.

Figura 2. Coeficiente de uniformidade de Hart em função dos tempos de funcionamento para o Tratamento 1 (molibdato de amônio, cloreto de magnésio e sulfato de amônio), Tratamento 2 (nitrato de cálcio, ácido bórico e sulfato de zinco) e o Tratamento 3 (sulfato de cobre, cloreto de manganês e sulfato de ferro).



O conhecimento do desempenho de um sistema de irrigação, principalmente quanto à uniformidade de distribuição da lâmina de água aplicada, é essencial para a tomada de decisões que permitam o uso racional de água, energia e fertilizantes (Colombo *et al.*, 2015; Araújo *et al.*, 2020).

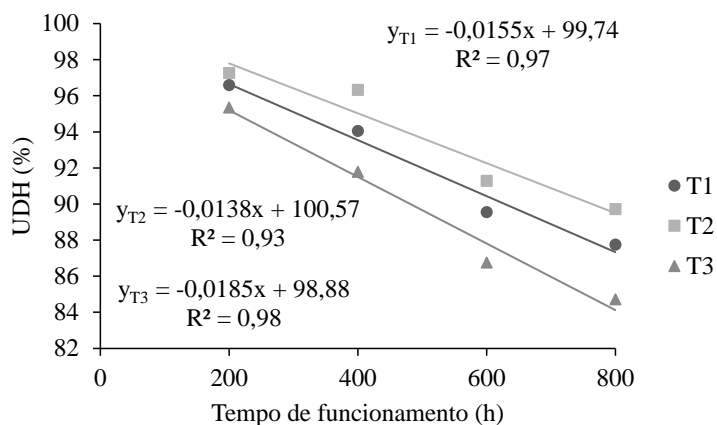
O CUH a cada aumento de 200 h no tempo de funcionamento demonstra um decréscimo de 4,1, 4 e 4,3%, quando aplicado via água de irrigação o Tratamento 1 (molibdato de amônio, cloreto de magnésio e sulfato de amônio), Tratamento 2 (nitrato de cálcio, ácido bórico e sulfato de zinco) e o Tratamento 3 (sulfato de cobre, cloreto de manganês e sulfato de ferro), respectivamente.

Projetos de irrigação conduzidos por gotejamento é indicado apresentar-se

coeficientes de uniformidades acima de 90%, é o recomendado para que obtenha uma boa distribuição espacial de água e consequentemente melhor uniformidade na cultura (Bernardo; Soares; Mantovani, 2006; Mohamed *et al.*, 2019).

O UDH em função do tempo de funcionamento se adequou ao modelo linear para o tratamento 1, 2 e 3, com R^2 de até 98% (Figura 3). A Figura 3 apresenta o comportamento da eficiência padrão da HSPA para cada tratamento em função do tempo de funcionamento. Levando em consideração o tempo de funcionamento de 200 e 800 h, observa-se reduções no UDH de aproximadamente 9,3, 8,3 e 11,1%, quando utilizou-se na fertirrigação o tratamento 1, 2 e 3, respectivamente.

Figura 3. A eficiência padrão da HSPA em função dos tempos de funcionamento para o Tratamento 1 (molibdato de amônio, cloreto de magnésio e sulfato de amônio), Tratamento 2 (nitrato de cálcio, ácido bórico e sulfato de zinco) e o Tratamento 3 (sulfato de cobre, cloreto de manganês e sulfato de ferro).



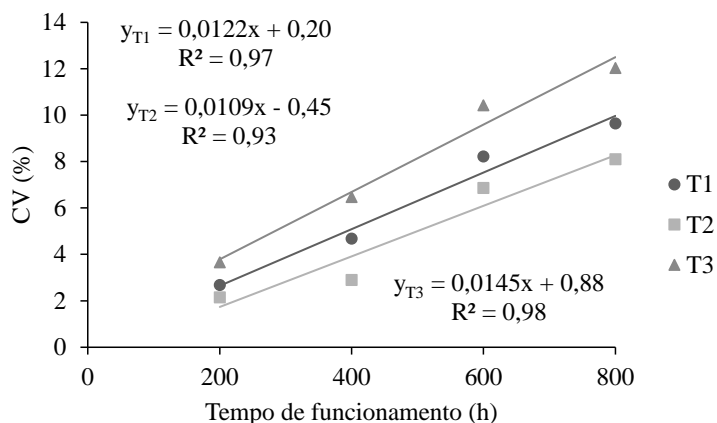
O CUD é mais utilizado na avaliação, pois este possibilita uma medida mais restrita, dando maior peso às plantas que recebem menos água, nesse sentido, o UDH poderia ser mais interessante, por ser mais restrito e por apresentar uma melhor discriminação, em ampla variação de vazões (López *et al.*, 1992; Frizzone; Dourado Neto, 2003; Cunha *et al.*, 2014a).

O UDH a cada aumento de 200 h no tempo de funcionamento demonstra um decréscimo de 3,1, 2,8 e 3,7%, quando aplicado via água de irrigação o Tratamento 1 (molibdato de amônio, cloreto de magnésio e sulfato de amônio), Tratamento 2 (nitrato de cálcio, ácido bórico e sulfato de zinco) e o Tratamento 3 (sulfato de cobre, cloreto de manganês e sulfato de ferro), respectivamente. Menores tempos de

funcionamento e melhor qualidade da água são vitais para garantir uma eficiência de irrigação adequada, uma vez que tais variáveis podem resultar em grandes impactos na aplicação e distribuição de água e nutrientes (Faria *et al.*, 2016).

O CV em função do tempo de funcionamento se adequou ao modelo linear para o tratamento 1, 2 e 3, com R^2 acima de 93% (Figura 4). A Figura 4 apresenta o comportamento do coeficiente de variação de vazão para cada tratamento em função do tempo de funcionamento. Levando em consideração o tempo de funcionamento de 200 e 800 h, observa-se incrementos no CV de aproximadamente 7,32, 6,54 e 8,7%, quando utilizou-se na fertirrigação o tratamento 1, 2 e 3, respectivamente.

Figura 4. O coeficiente de variação em função dos tempos de funcionamento para o Tratamento 1 (molibdato de amônio, cloreto de magnésio e sulfato de amônio), Tratamento 2 (nitrato de cálcio, ácido bórico e sulfato de zinco) e o Tratamento 3 (sulfato de cobre, cloreto de manganês e sulfato de ferro).



Os emissores em condições de fertirrigação, provocam injúrias aos emissores apenas do ponto de vista de sua qualidade construtiva, afetando o CVq não havendo impedimento na estrutura do labirinto que prejudicasse a vazão (Dalri *et al.*, 2014; Elhussiny *et al.*, 2023).

O CV a cada aumento de 200 h no tempo de funcionamento demonstra um acréscimo de 2,44, 2,18 e 2,9%, quando aplicado via água de irrigação o Tratamento 1 (molibdato de amônio, cloreto de magnésio e sulfato de amônio), Tratamento 2 (nitrato de cálcio, ácido bórico e sulfato de zinco) e o Tratamento 3 (sulfato de cobre, cloreto de manganês e sulfato de ferro), respectivamente.

6 CONCLUSÕES

Os distúrbios de vazão dos gotejadores são mais acentuados quando sob aplicação de sulfato de cobre, cloreto de manganês e sulfato de ferro.

Os melhores coeficientes de variação de vazão ocorrem quando se utiliza na fertirrigação o nitrato de cálcio, ácido bórico e sulfato de zinco.

A eficiência dos gotejadores é menos influenciada pela aplicação de nitrato de cálcio, ácido bórico e sulfato de zinco.

O coeficiente de uniformidade de Hart e eficiência padrão da HSPA devido a fertirrigação com molibdato de amônio, cloreto de magnésio e sulfato de amônio indica redução intermediário.

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

- ANDRADE, L. M.; PACHECO, J. C. C.; COSTA, G. L. L.; ALENCAR, C. A. B. D.; CUNHA, F. F. D. Uniformity of water distribution by a sprinkler irrigation system on a soccer field. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 37, p. e38012, 2022.
- ARAÚJO, E. D.; SANTOS, D. L.; ALVINO, F. C. G.; FERREIRA, L. B.; CUNHA, F. F. Predictive models of water application and distribution efficiency in conventional sprinkling. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 40, n. 1, p. 24-33, jan./feb. 2020.
- BARRETO FILHO, A. A.; DANTAS NETO, J.; MATOS, J. A.; GOMES, E. M.; Desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão, instalado a nível de campo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 309-314, 2000.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006.
- BLUM, J. R. C. Critérios e padrões de qualidade da água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reuso de água**. Barueri: Manole, 2003. cap. 5, p. 125-174.
- COLOMBO, A.; FARIA, L. C.; SILVA, J. J.; SANT'ANA, J. A. V.; BESKOW, S.; NÖRENBERG, B. G. Modelagem das perdas de água por evaporação e arraste de sprays de placa oscilante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 8, p. 719-726, 2015.
- CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; CARVALHO, J. J.; MOURA, L. M. F.; MELO, S. R. P. Uniformidade de aplicação de fertilizantes sob um sistema de gotejamento subsuperficial. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 8, n. 1, p. 391-402, 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.
- CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; RODRIGUES, C. R.; MORAES, G. S.; SILVA, I. O. F.; ALVES, D. K. M. Uniformidade de irrigação por gotejamento sob fertirrigação com fontes de nitrogênio. **Revista brasileira de agricultura irrigada**, Fortaleza, v. 12, n. 1, p. 3118-3128, 2018.
- DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F.; CRUZ, R. L.; ZANINI, J. R.; FARIA, R. T.; SANTOS, G. O. Entupimento de emissores enterrados sob a cultura da cana-de-açúcar após três anos de cultivo em condições fertirrigadas. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, edição especial, p. 62-71, 2014.
- ELHUSSINY, K. T.; HASSAN, A. M.; HABSSA, A. A.; MOKHTAR, A. Prediction of water distribution uniformity of sprinkler irrigation system based on machine learning algorithms. **Scientific Reports**, Amesterdã, v. 13, article 20885, p. 1-16, 2023.
- 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.
- FARIA, L. C.; BESKOW, S.; COLOMBO, A.; NÖRENBERG, B. G.; RETTORE NETO, O.; SIMÕES, M. C. Influence of the wind on water application uniformity of a mechanical lateral move irrigation equipment using rotating plate sprinklers. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 46, n. 1, 83-88, 2016.

- FAVETTA, G. M.; BOTREL T. A. Uniformidade de sistemas de irrigação localizada: validação de equações. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 427-430, abr./jun. 2001.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FRIGO, E. P.; SAMPAIO, S. C.; FREITAS, P. L.; NOBREGA, L. H.; SANTOS, R. F.; MALLMANN, L. S. Desempenho do sistema de gotejamento e de filtros utilizando água residuária da suinocultura. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 3, p. 305-318, 2006.
- FRIZZONE, J. A.; DOURADO NETO, D. Avaliação de sistemas de irrigação. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. de M. (org.). **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2003. p. 573-651.
- FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. 1. ed. Maringá: EDUEM, 2012.
- KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. California: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.
- LI, Y.; BAI, G.; YAN, H. Development and validation of a modified model to simulate the sprinkler water distribution. **Computers Electronics in Agriculture**, Amesterdã, v. 111, p. 38- 47, 2015.
- LIMA, S. C. R. V.; FRIZZONE, J. A.; COSTA, R. N. T.; SOUZA, F.; PEREIRA, A. S.; MACHADO, C. C.; VALNIR JÚNIOR, M. Curvas de desempenho de válvulas reguladoras de pressão novas e com diferentes tipos de utilização. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 201-209, 2003.
- LOPES, A. R.; VILAS BOAS, M. A.; PAZUCH, F. A.; DALLA CORTE, L.; GOMES, B. M.; PRATES, R. T. C. Uniformity of drip irrigation system with liquid peat on different slopes. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 2, edição especial, p. 357-366, jul. 2021.
- LOPES, A. R.; VILAS BOAS, M. A.; PAZUCH, F. A.; OSTROSKI, D. A.; SCHMATZ, M. J. Control charts for monitoring drip irrigation with different hydraulic heads. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 15, n. 4, p. 1-10, 2020.
- LÓPEZ, J. R.; ABREU, J. M. H.; REGALADO, A. P.; HERNÁNDEZ, J. F. **G. Riego Localizado**. Madrid: Mundi-Prensa, 1992.
- MAGALHÃES, M. I.; TEXEIRA, A. S.; FERREYRA, F. F. Uniformidade de distribuição do fertilizante, via fertirrigação, em um sistema de irrigação por gotejamento. In: Congresso Brasileiro De Engenharia Agrícola, 25., 1996, Bauru. **Anais [...]**. Bauru: UNESP: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1996. p. 95-103.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, p. 1-355, 2009.
- MANTOVANI, E. C.; FACCIONI, G. G.; LEAL, B. G.; SOARES, A. A.; COSTA, L. C.; FREITAS, P. S. L. Influence of the water distribution uniformity and irrigation depth on the yield of irrigated bean crop.

Irriga, Botucatu, v. 14, n. 4, p. 458-469, 2009.

MARTINS, C. A. S.; REIS, E. F.; PASSOS, R. R.; GARCIA, G. O. Desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Idesia**, Arica, v. 29, n. 3, p. 65-74, 2011.

MOHAMED, A. Z.; PETERS, R. T.; ZHU, X.; SARWAR, A. Adjusting irrigation uniformity coefficients for unimportant variability on a small scale. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 213, n. 1, p. 1078-1083, 2019.

PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos,

agricultura irrigada e meio ambiente.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 465-473, 2000.

SILVA, S.; DANTAS NETO, J.; TEODORO, I.; SANTOS, M. A. L.; ANDRADE, A. B. A.; CORDÃO, M. A. Qualidade da irrigação por gotejamento em cultivos consecutivos de cana-de-açúcar. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, v. 11, n. 2, p. 1-8, 2015.

ZHU, X.; YUAN, S.; JIANG, J.; LIU, J.; LIU, X. Comparison of fluidic and impact sprinklers based on hydraulic performance. **Irrigation Science**, Amsterdam, v. 33, n. 5, p. 367-374, 2015.