

## CONTROLE ESTATÍSTICO NO MONITORAMENTO DO ENTUPIMENTO DE UNIDADES GOTEJADORAS IRRIGADAS COM ÁGUA DE FECULARIA DILUÍDA

**MAYRA GISLAYNE MELO DE LIMA<sup>1\*</sup>; DENISE DE JESUS LEMOS FERREIRA<sup>2</sup>; JOSÉ DANTAS NETO<sup>3</sup>; JUAREZ PAZ PEDROZA<sup>4</sup>; LUCIANO MARCELO FALLÉ SABOYA<sup>5</sup> E LEANDRO FABRÍCIO SENA<sup>6</sup>**

\* Artigo extraído da Tese da primeira autora.

<sup>1</sup> Doutora em Engenharia Agrícola e Técnica de laboratório – Área: Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário, 58428-830, Campina Grande, Paraíba, Brasil, e-mail: mayramelo.ufcg@live.com.

<sup>2</sup> Professora doutora EBTT na área de Engenharia Agrícola: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – Campus Serrinha, Estrada Vicinal de Aparecida, s/n, Bairro Aparecida, CEP: 48700-000, Serrinha, Bahia, Brasil, e-mail: denise.ferreira@ifbaiano.edu.br.

<sup>3</sup> Professor doutor: Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário, 58428-830, Campina Grande, Paraíba, Brasil, e-mail: zedantas1955@gmail.com.

<sup>4</sup> Professor doutor: Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário, 58428-830, Campina Grande, Paraíba, Brasil, e-mail: juarez.ppedroza2016@gmail.com

<sup>5</sup> Professor doutor: Departamento de Engenharia Agrícola, Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário, 58428-830, Campina Grande, Paraíba, Brasil, e-mail: lsaboya@hotmail.com.

<sup>6</sup> Doutor em Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário, 58428-830, Campina Grande, Paraíba, Brasil, e-mail: leandrofsena@hotmail.com.

### 1 RESUMO

A utilização de ferramentas de controle estatístico de qualidade na irrigação vem se disseminando por propiciar a detecção rápida e eficaz dos possíveis problemas ocasionados aos gotejadores, em especial, quando se utiliza águas residuárias na irrigação. Desse modo, essa pesquisa teve como objetivo utilizar cartas de controle estatístico de qualidade no acompanhamento do grau de entupimento de unidades gotejadoras irrigadas com água residuária de fecularia diluída. A pesquisa foi desenvolvida em uma área experimental pertencente ao Laboratório de Engenharia de Irrigação e Drenagem (LEID), da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, no Campus de Campina Grande, Paraíba, Brasil. Foram avaliadas quatro unidades gotejadoras diferentes a cada 20 horas, por 480 horas, totalizando 25 ensaios, com pressão de serviço de 100 kPa. Ao comparar as cartas de controle estatístico de Shewhart com as da média móvel exponencialmente ponderada (MMEP), observou-se que as cartas de MMEP foram mais sensíveis a variações de menor porte. Além disso, percebe-se que a água residuária de fecularia diluída aumentou problemas de entupimento nos modelos de fitas gotejadoras M1 e M3 ao decorrer de 480h de irrigação e que o uso da água residuária de fecularia bruta não é recomendado para a irrigação localizada, por apresentar altos de teores de dureza de cálcio e magnésio, sódio e cloretos.

**Palavras-chave:** Emissores, qualidade de água, obstrução, reutilização, biofertilizante.

**LIMA, M. G. M. de; FERREIRA, D. de J. L.; DANTAS NETO, J.; PEDROZA, J. P.;  
SABOYA, L. M. F.; SENA, L. F.  
STATISTICAL CONTROL IN MONITORING THE CLOGGING OF DRIPPER  
UNITS IRRIGATED WITH DILUTED FECULENCE WATER**

## **2 ABSTRACT**

The use of statistical quality control tools in irrigation has been disseminated because it provides a fast and efficient detection of possible problems in drippers, especially when wastewater is used in irrigation. Thus, this research aimed at using statistical quality control charts to monitor the degree of clogging of drip irrigation units irrigated with diluted fecula wastewater. The research was performed in an experimental area belonging to the Laboratory of Irrigation and Drainage Engineering (LEID), of the Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande Campus, Paraíba, Brazil. Four different dripper units were evaluated every 20 hours, for 480 hours, totaling 25 trials, with service pressure of 100 kPa. When comparing the Shewhart statistical control charts with the exponentially weighted moving average (EPM) charts, it was observed that the EPM charts were more sensitive to minor variations. Furthermore, it was observed that the diluted fecula residue water increased clogging problems in the dripline models M1 and M3 during 480 hours of irrigation and that the use of raw fecaria residuary water is not recommended for localized irrigation, because it presented high levels of calcium and magnesium hardness, sodium and chlorides.

**Keywords:** Emitters, water quality, obstruction, reuse, biofertilizer.

## **3 INTRODUÇÃO**

No Semiárido Brasileiro, sobretudo, a água é considerada um fator cada vez mais limitante no desenvolvimento da agricultura irrigada, que segundo Bezerra *et al.* (2019) se deve ao fato da região ser caracterizada por precipitações pluviométricas irregulares e elevada evapotranspiração. Considerando que a demanda de água para atender a irrigação só aumenta, se faz necessário a busca e o uso de sistemas de irrigação mais eficientes e de águas com qualidade físico-química e biológica inferiores, como forma de garantir que os recursos hídricos de melhor qualidade sejam destinados aos fins mais nobres, como é o caso do abastecimento urbano.

Ao saber da importância em dar uma destinação adequada às águas de qualidade inferior (águas residuárias),

estudos referentes ao seu uso não apenas como alternativa para suprir as necessidades hídricas das culturas, mas também como biofertilizante têm avançado, tendo em vista a disponibilização de nutrientes, visando além da economia de água, a economia de fertilizantes químicos (SOUSA *et al.*, 2021). Além disso, no quesito ambiental a reciclagem dessas águas é uma forma de destinar adequadamente um resíduo que apresenta sérios riscos ao meio ambiente e é muitas vezes direcionado “in natura” nos cursos d’água.

Dentre as mais diversas águas residuárias que estão disponíveis para uso na irrigação, encontram-se as águas resultantes do beneficiamento da mandioca, conhecidas popularmente como “Manipueira”, provenientes da prensagem das raízes da mandioca para a obtenção da fécula ou da farinha, elas possuem um

aspecto leitoso, e são ricas em nitrogênio, fósforo e potássio, elementos que favorecem o desenvolvimento das culturas (HERMES *et al.*, 2018). Diversos pesquisadores enfatizam sobre o potencial da manipueira como fertilizante para diversas culturas, a citar Araújo *et al.* (2019), que concluíram em sua pesquisa que, a manipueira pode substituir a adubação potássica via fertirrigação na produção do milho ‘Potiguar’. Ramos *et al.* (2020) ao estudarem a eficácia da adubação orgânica com urina humana e manipueira aplicados via fundação e fertirrigação no crescimento do milho híbrido AG1051, atingiram os melhores resultados com a adubação orgânica aplicada via fundação, destacando que, pode ser vista como uma estratégia em substituição à adubação mineral, desde que não seja aplicada em excesso.

No que se refere às tecnologias desenvolvidas para a irrigação quando se trata do uso racional da água, se destacam os sistemas de irrigação localizada, em especial, o gotejamento como os mais recomendados. De acordo com Melo *et al.* (2020), cresce o interesse de técnicos e pesquisadoras pelos sistemas por gotejamento devido a sua maior eficiência quanto ao uso de água e a aplicação de fertilizantes, por propiciarem a utilização de forma racional da água e, com isso, de energia por causa da aplicação em baixos volumes. Sobre a aplicação de fertilizantes, os autores Pereira *et al.* (2019) informam que, tanto na microaspersão quanto no gotejamento, a adubação convencional pode ser substituída pela fertirrigação, pois, essa técnica possibilita o aumento da eficiência do uso de nutrientes pela planta, em função da aplicação pontual e próximo às raízes, diminuindo a aplicação de dosagens excessivas de fertilizantes.

Na utilização de águas residuárias, é fundamental a realização do monitoramento mais preciso e com mais periodicidade, visando evitar possíveis problemas de

entupimento e o desgaste excessivo dos materiais de irrigação, como afirmam Szekut *et al.* (2018). Considerando que os gotejadores possuem alta susceptibilidade ao entupimento, por possuírem pequenos labirintos e orifícios para a passagem de água.

Nesse âmbito, a utilização da ferramenta do controle estatístico de qualidade (CEQ) vem se sobressaindo no setor agrícola, uma vez que, segundo Gouveia (2018), a implementação eficaz do controle do processo possibilita a tomada de ações de melhoria ou preventivas, no tempo certo, propiciando a correção ou otimização do processo, resultando no aumento de qualidade, produtividade, custos e redução do tempo de ciclo. Quando se trata das vantagens da aplicação do CEQ para o produtor rural, que utiliza águas residuárias em seus sistemas de irrigação, os autores Gomes *et al.* (2020) enfatizam que, essa ferramenta fornecerá um norteamento para a realização das manutenções preventivas em seu sistema de irrigação. O gráfico de controle mais conhecido é o de Shewhart para medidas individuais, entretanto, os de Média Móvel Ponderada (MMEP) também vêm sendo muito utilizados.

Desse modo, essa pesquisa teve como objetivo monitorar o grau de entupimento de unidades gotejadoras ao serem irrigadas com água de abastecimento urbano e água residuária de fecularia diluída, utilizando cartas de controle estatístico de qualidade.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento ocorreu em uma área experimental pertencente ao Laboratório de Engenharia de Irrigação e Drenagem (LEID), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no município de Campina Grande

- PB. Foram avaliadas três unidades gotejadoras instaladas em bancadas experimentais desenvolvidas por Ferreira (2015). Utilizando quatro modelos de fitas gotejadoras diferentes (Azud On Line,

Azud Sprint, Rivulis D9000 e Tiquira), codificadas como M1, M2, M3 e M4, respectivamente, comercializadas no mercado local, cujas características estão descritas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Especificações técnicas das fitas gotejadoras

Nomenclatura	Fabricante	Modelo	DA	Q* (L h <sup>-1</sup> )	k	x	PN (kPa)	DN (mm)	EE (m)
M1	Azud	On Line	Não	1,61	0,49	0,5	50-125	16	0,20
M2	Azud	Sprint	Não	1,61	0,49	0,5	50-125	16	0,20
M3	Rivulis	D9000	Não	1,41	-	-	100	16	0,20
M4	Petroisa	Tiquira	Não	1,51	0,46	0,5	100	16	0,20

(DA) = dispositivo de autocompensação, (Q)= vazão nominal, (k) = coeficiente de vazão, (x)= expoente da vazão que caracteriza o regime de escoamento, (PN) = pressão nominal, (DN) = diâmetro nominal e (EE) = espaçamento entre emissores **Nota:** \* - Vazão nominal das fitas gotejadoras na pressão de serviço de 100 kPa; \*\* Informações obtidas nos catálogos dos fabricantes.

As bancadas de testes utilizadas no experimento possuíam capacidade para a instalação de quatro linhas laterais, posicionadas paralelamente, com espaçamento de 0,15 m, em que a unidade gotejadora 1 operou somente com água de irrigação proveniente do abastecimento urbano do município de Campina Grande – PB, denominada AA, e as unidades gotejadoras 2 e 3 submetidas à irrigação com água de irrigação da diluição de água residuária de fecularia, denominada AR, obtida em uma casa de farinha localizada na

zona rural do município de Puxinanã – PB.

A água residuária de fecularia utilizada na pesquisa passou por análise no Laboratório de Referência em Dessalinização - LABDES/UFCG e no Laboratório de Controle de qualidade do SENAI – Campina Grande – PB e a água de abastecimento urbano foi analisada no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS), em conformidade com as recomendações do Standard Methods (APHA, 2005) para a obtenção das características físico-químicas e microbiológicas observadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Características físico-químicas da água de abastecimento urbano e da água residuária de fecularia utilizadas na pesquisa

Parâmetros <sup>1</sup>	Unidades	Água de abastecimento urbano	Água residuária de fecularia
Condutividade elétrica (CE)	dS m <sup>-1</sup> a 25°C	0,74	13,68
Potencial Hidrogeniônico (pH)	-	6,58	3,60
Dureza em Cálcio	mg L <sup>-1</sup>	35,20	380,0
Dureza do Magnésio	mg L <sup>-1</sup>	19,68	1.440,0
Sódio	mg L <sup>-1</sup>	57,22	671,5
Potássio	mg L <sup>-1</sup>	8,99	34,1
Carbonatos	mg L <sup>-1</sup>	0,00	0,00
Bicarbonatos	mg L <sup>-1</sup>	77,48	0,00
Cloretos	mg L <sup>-1</sup>	132,64	6.035,0
Sulfatos	mg L <sup>-1</sup>	Presença	Presença
Relação de Adsorção de Sódio (RAS)	mg L <sup>-1</sup>	10,92	22,26
Classe	-	C2S1	C4S1

Baseada na classificação proposta por Richards (1954) para água de irrigação em função da condutividade elétrica (CE) foi realizada a diluição da água residuária de fecularia em água de abastecimento urbano na proporção 1:30, sendo uma parte de água residuária de fecularia em trinta partes de água de abastecimento urbano, mantendo-a uma CE de 0,65 dS m<sup>-1</sup>, classificada como C2.

Para a análise dos quatro modelos de fitas gotejadoras, considerando a

capacidade das bancadas de testes, os modelos de fitas estudados passaram por análise em períodos diferentes. Dessa forma, inicialmente foram analisados os modelos de fitas gotejadoras M1 e M2 ao serem submetidos à irrigação com água de abastecimento urbano e com água de residuária de fecularia diluída e, por conseguinte, os modelos de fitas gotejadoras M3 e M4 nas mesmas condições. Sendo então, analisados oito tratamentos, dispostos nas Tabela 3.

**Tabela 3.** Tratamentos utilizados nas unidades gotejadoras

Tratamentos	Unidade Gotejadora	Modelo	Tipo de água
AAM1	UG1	Azud Line	AA <sup>1</sup>
AAM2	UG1	Azud Sprint	AA <sup>1</sup>
AAM3	UG1	Rivulis D9000	AA <sup>1</sup>
AAM4	UG1	Tiquira	AA <sup>1</sup>
ARM1	UG2	Azud Line	AR <sup>2</sup>
ARM2	UG2	Azud Sprint	AR <sup>2</sup>
ARM3	UG3	Rivulis D9000	AR <sup>2</sup>
ARM4	UG3	Tiquira	AR <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Água de irrigação proveniente o abastecimento urbano do município de Campina Grande – PB;

<sup>2</sup> Água de irrigação obtida a partir da diluição de água residuária de fecularia diluída em água de abastecimento urbano.

As unidades de irrigação analisadas na pesquisa foram compostas por: eletrobomba com vazão máxima de 35 L/min de ½ CV (monofásica) 220 V, reservatório de água com capacidade de 500 litros (caixa d'água de fibra de vidro), filtro de disco de 120 mesh, dois manômetros de glicerina (um na saída da bomba e outro na extremidade final da linha principal), válvula de retenção, registro de globo, tubos de PVC, conexões, fitas gotejadoras e gotejadores. Além disso, havia nas bancadas de testes um sistema de recirculação da água, constituído por prateleiras móveis de madeira, utilizadas apenas durante as avaliações das unidades de irrigação, para suportar os recipientes coletores de água e que após serem removidas permitiam que a água gotejada fosse reconduzida para o reservatório, por meio de telhas de fibra de vidro, sendo direcionada novamente ao reservatório (caixa d'água).

Para a análise do entupimento das unidades gotejadoras, foi realizado um ensaio inicial (0 horas) e a partir daí funcionaram 10 horas/dia, sendo realizados 25 ensaios, com intervalos de 20 horas, totalizando 480 horas de funcionamento. Os ensaios seguiram a norma NBR ISO 9261 (ABNT, 2006), em um tempo pré-estabelecido de 5 minutos cronometrados,

admitindo uma defasagem de 20 segundos de um gotejador para outro e com quatro repetições. A coleta dos volumes das quatro linhas laterais se deu de forma simultânea, com o auxílio de recipientes de plástico com volume de 300 ml.

Com os volumes de água coletados, as vazões e o grau de entupimento dos gotejadores foram calculados conforme as equações 1 e 2:

$$q = \frac{V}{1000 \cdot t} \cdot 60 \quad (1)$$

Em que:

q – vazão do gotejador, L h<sup>-1</sup>;  
V – volume de água coletada, mL;  
t – tempo de coleta da água, min.

$$GE = \left(1 - \frac{q_{usado}}{q_{novo}}\right) \cdot 100 \quad (2)$$

Em que:

GE – grau de entupimento, %;  
q<sub>usado</sub> – vazão do gotejador usado, L h<sup>-1</sup>;  
q<sub>novo</sub> – vazão do gotejador novo, L h<sup>-1</sup>.

O grau de entupimento de cada uma das unidades gotejadoras estudadas foi classificado segundo Morata et al. (2014), conforme disposto na Tabela 4.

**Tabela 4.** Interpretação dos valores de grau de entupimento das unidades gotejadoras

Classificação	GE <sup>1</sup> (%)
Sem entupimento	<0
Baixo	0 – 10
Médio	10 – 40
Alto	40 – 90
Muito alto	90 – 100

Fonte: <sup>1</sup>Morata et al. (2014)

Visando monitorar o desempenho hidráulico das quatro unidades gotejadoras

operando com água de abastecimento urbano e água residuária oriunda do

processamento da mandioca, utilizou-se dois tipos de gráficos de controle:

a) Cartas de controle de Shewhart: Amostras individuais determinando os limites de controle superior (LSC), central (LC) e inferior (LIC) de acordo com as equações seguintes:

$$LSC = \bar{x} + 3\sigma \quad (3)$$

$$LC = \bar{x} \quad (4)$$

$$LIC = \bar{x} - 3\sigma \quad (5)$$

$$\sigma = MR \cdot (d^2)^{-1} \quad (6)$$

Em que:

$\bar{x}$ - Linha central do gráfico de controle e corresponde ao valor médio das vazões;

$\sigma$  - Estimador do desvio-padrão populacional;

$d^2$  - Fator de correção tabelado que depende do tamanho da amostra;

MR - Amplitude amostral média.

b) Cartas de controle MMEP: Construídos por meio das variáveis valor médio e número da amostra  $i$ , ou tempo. A partir da seguinte equação (7).

$$z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda) z_{i-1} - 1 \quad (7)$$

Em que:

$i$  - Número de amostras;

$z_i$  - Valores plotados no gráfico;

$\lambda$  - Fator de suavização, constante que varia entre 0 e 1, sendo  $\lambda$  utilizado de 0,20;

$x_i$ - Valores individuais ou reais encontrados no processo.

Os cálculos dos limites de controle dos gráficos de controle MMEP foram realizados utilizando as equações de 8 a 10.

$$LSC = \bar{x} + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1-\lambda)^{2i}]} \quad (8)$$

$$LC = \bar{x} \quad (9)$$

$$LIC = \bar{x} - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1-\lambda)^{2i}]} \quad (10)$$

Em que:

$\bar{x}$ - Linha central do gráfico de controle e

corresponde ao valor médio das vazões;

L - número de desvios padrão da média de controle que se quer detectar, sendo o L utilizado igual a 2);

$\Sigma$  - Desvio padrão.

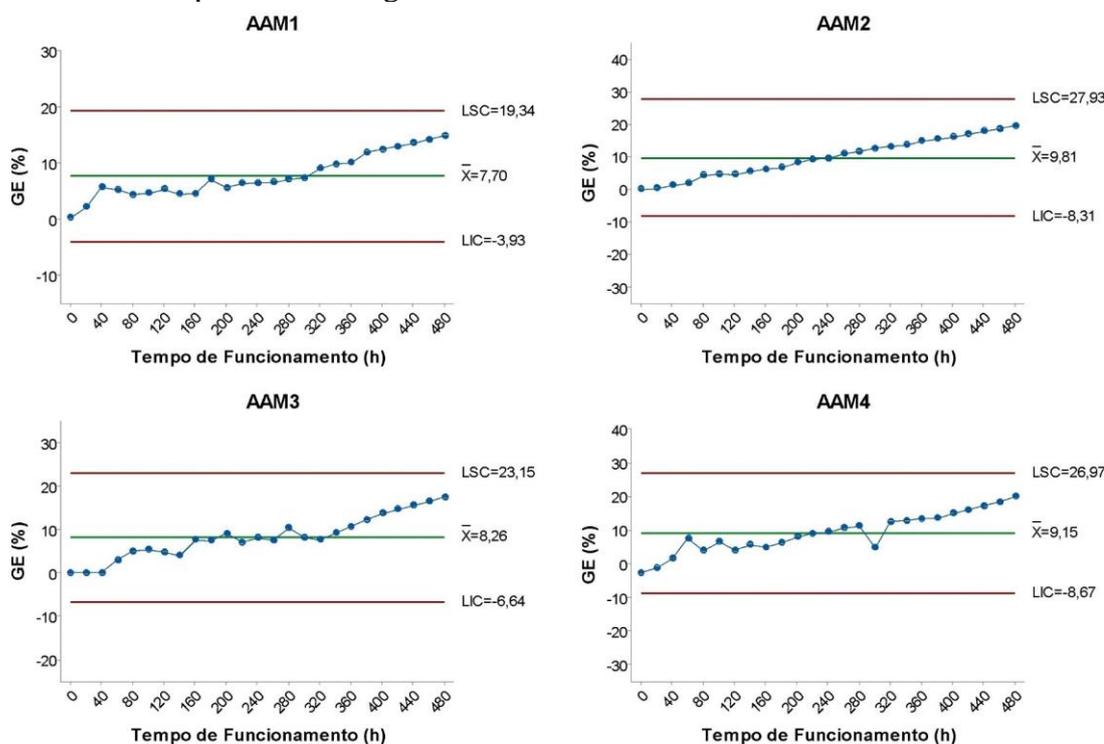
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 estão apresentadas as cartas de controle estatístico de Shewhart para o parâmetro hidráulico grau de entupimento (GE), para as diferentes unidades gotejadoras avaliadas ao longo das 480 horas de funcionamento com água de abastecimento urbano (Tratamentos AAM1, AAM2, AAM3 e AAM4). Observando as cartas de Shewhart para o parâmetro hidráulico GE nota-se que havendo indícios de entupimento nos gotejadores o valor do GE tende a aumentar. Segundo Reis *et al.* (2021), o parâmetro grau de entupimento pode apresentar valores positivos, que são resultantes de problemas de entupimento que ocasionaram redução na vazão, ou valores negativos, oriundos do aumento da vazão em decorrência de problemas de obstrução. Analisando as cartas de controle abaixo, não há extrapolação de pontos nos limites de controle superior e inferior em nenhum dos tratamentos avaliados. Todavia, há sequências ou tendências de valores em todos os tratamentos estudados, que seriam, de acordo Montgomery (2013), indícios de falta de controle dos processos. De acordo com Orssatto *et al.* (2014), ao pesquisarem sobre a aplicação de cartas de

controle de Shewhart em uma estação de tratamentos de águas residuais, essas cartas são uma boa alternativa para a visualização

de erros nos processos, em especial, para grandes mudanças.

**Figura 1.** Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o Grau de Entupimento (GE) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.



**Fonte:** Autores (2021)

O valor médio do grau de entupimento (GE) para o tratamento AAM1 (Figura 1) ao longo do período de estudo foi de 7,70%, com limites de controle superior de 19,34% e inferior de -3,93%. No tratamento AAM2 (unidade gotejadora M2 irrigada com água de abastecimento urbano) o valor médio do GE foi de 9,81%, com limites de controle superior de 27,93% e inferior de -8,31%. No tratamento AAM3 (unidade gotejadora M3 irrigada com água de abastecimento urbano), o valor médio do GE foi de 8,26%, com limites de controle superior de 23,15% e inferior de -6,64%. E no tratamento AAM4 (unidade gotejadora M4 irrigada com água de abastecimento urbano), o valor médio do GE de 9,15%, com limites de controle superior de 26,97% e inferior de -8,67%. Nesse sentido, a

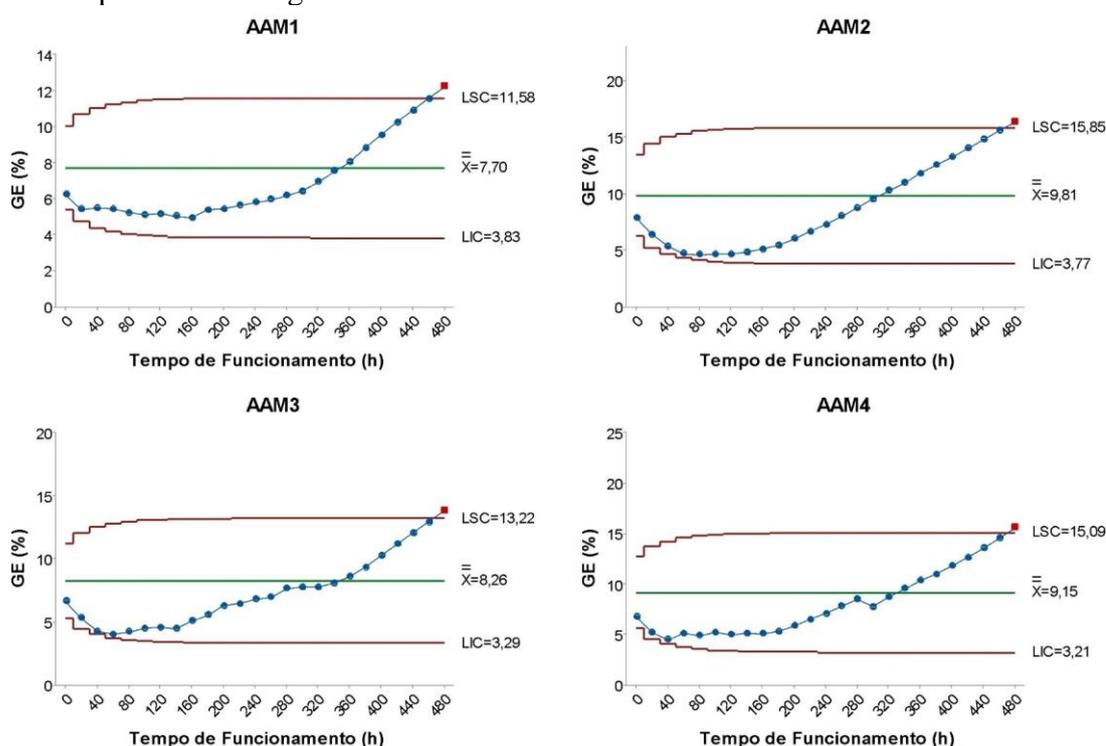
análise da situação do desempenho hidráulico das unidades gotejadoras por meio do grau de entupimento (GE) médio ao decorrer de 480h de irrigação com água de abastecimento urbano, elas podem ser classificadas como “médias” (GE entre 10 e 40%), por apresentarem valores de GE entre -8,67 e 27,93%. Os autores Costa *et al.* (2019) afirmaram que a susceptibilidade ao entupimento dos gotejadores está relacionada à menor vazão, ao menor comprimento do labirinto e à formação de bioincrustação, principalmente, na área de filtração e no interior do labirinto.

Na Figura 2, o parâmetro hidráulico grau de entupimento (GE) das diferentes unidades gotejadoras avaliadas utilizando água de abastecimento urbano na irrigação (Tratamentos AAM1, AAM2, AAM3 e

AAM4) por meio das cartas de controle estatístico de qualidade da média móvel exponencialmente ponderada (MMEP). É possível identificar nas cartas de controle de MMEP sequências de valores que ultrapassam a linha média, em direção ao limite superior de controle a partir do ensaio realizado às 360h (Ensaio 19) nos tratamentos AAM1 e AAM3, e às 320h

(Ensaio 17) nos tratamentos AAM2 e AAM4. Além disso, às 480h (Ensaio 25) de funcionamento com água de abastecimento urbano, todos os tratamentos estudados extrapolaram os limites de controle superior, de acordo com Montgomery (2013) sugerem a falta de controle desses processos.

**Figura 2.** Cartas de Controle estatístico de qualidade de MMEP para o Grau de Entupimento (GE) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.

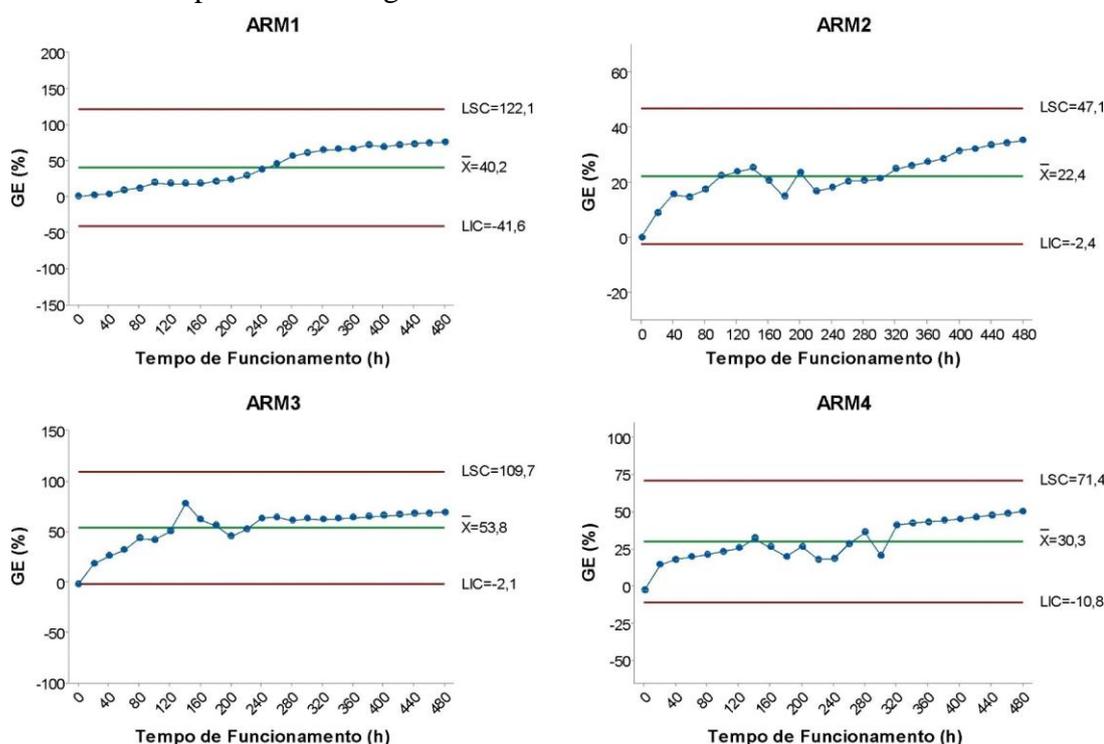


Fonte: Autores (2021)

As cartas de controle estatístico de qualidade de Shewhart para os valores individuais do parâmetro grau de entupimento (GE) estão dispostas na Figura 3, para as unidades gotejadoras submetidas à irrigação com água residuária de fecularia diluída. Não se verificou a extrapolação de valores acima ou abaixo dos limites de controle estipulados, há evidências de falta de controle estatístico nos processos pela presença de sequências ou tendências de

valores acima das linhas médias (MONTGOMERY, 2013) a partir do ensaio realizado às 260h (Ensaio 14) no tratamento ARM1, às 300h (Ensaio 16) no tratamento ARM2 e ARM4 e às 220h (Ensaio 12) no tratamento ARM3. Tendo em vista que, os valores situados acima das linhas médias devem ser ressaltados por indicarem altas alterações nos graus de entupimento de todos os tratamentos avaliados.

**Figura 3.** Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o Grau de Entupimento (GE) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia diluída.



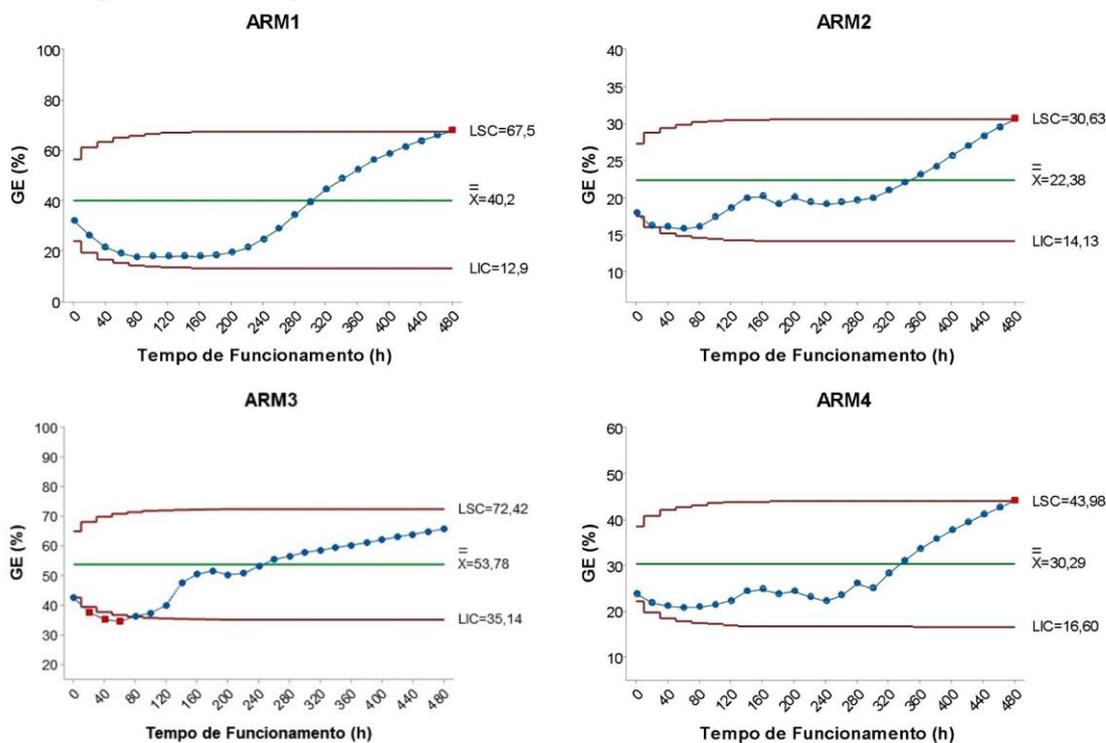
Fonte: Autores (2021)

Ainda analisando a Figura 3, a unidade gotejadora que compõe o tratamento ARM1 apresentou valor médio de GE estimado ao longo do período experimental de 40,20%, com limite de controle superior de 122,1% e limite de controle inferior de -41,60%. No tratamento ARM2, o valor médio do GE estimado ao longo do período experimental foi de 22,40%, com limite de controle superior de 47,1% e limite de controle inferior de -2,4%. No tratamento ARM3, o valor médio de GE foi de 53,8%, com limite de controle superior de 109,70% e limite de controle inferior de -2,1%. E no tratamento ARM4, o valor médio de GE foi de 30,30%, com limite superior de controle de 71,40% e limite de controle inferior de -10,80%. Por meio da classificação proposta por Morata *et al.* (2014), em função do parâmetro hidráulico Grau de Entupimento (GE), as unidades gotejadoras que compõem os

tratamentos ARM1 e ARM3 são classificadas como “Entupimento Alto”, e já nos tratamentos ARM2 e ARM4 como “Entupimento Médio”.

Na Figura 4, o grau de entupimento (GE) para os tratamentos estudados (Tratamentos ARM1, ARM2, ARM3 e ARM4), ao serem submetidos à 480h de funcionamento com água residuária de fecularia diluída, pode ser avaliado a partir das cartas de controle estatístico de qualidade da média móvel exponencialmente ponderada (MMEP). Há presença de sequências ou tendências de dados, fator que segundo Montgomery (2013), reflete problema nos processos analisados. Conceição *et al.* (2018) afirmaram que a carta de MMEP é caracterizada por três linhas (LSC, LC e LIC) e são excelentes para uso com observações individuais.

**Figura 4.** Cartas de Controle estatístico de qualidade de MMEP para o Grau de Entupimento (GE) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia diluída.



Fonte: Autores (2021)

Complementando a análise das cartas dispostas na Figura 4, pode-se afirmar que o fato dos dados se situarem acima da linha média, é visto como prejudicial aos processos; e nas cartas de controle de MMEP, o momento em que os valores de GE tendem a ultrapassar a linha média tem início a partir do ensaio realizado às 300h (Ensaio 16) no tratamento ARM1 e ARM4 e às 260h (Ensaio 14) no tratamento ARM3. Cruz, Cunha Filho e Falcão (2014) enfatizaram que as cartas de MMEP possuem dentre seus pontos positivos a possibilidade da detecção rápida de pequenos desvios e de informações sobre a tendência do processo estudado, sendo robustas à hipótese de normalidade e altamente sensível às pequenas variações ocorrentes.

Por fim, relacionando os atributos físico-químicos das águas de irrigação utilizadas na pesquisa (Tabela 2) com o risco de entupimento dos gotejadores

observou-se que o parâmetro Condutividade Elétrica (CE) para a água de abastecimento urbano ( $CE = 0,74 \text{ dS m}^{-1}$ ) se enquadra no grau de restrição baixo e a água residuária de fecularia ( $CE = 13,68 \text{ dS m}^{-1}$ ) se enquadram no grau de restrição severo, por ultrapassarem o limite de  $4,5 \text{ dS m}^{-1}$  proposto por Capra e Scicolone (1998). No que se refere ao pH, segundo Nakayama e Bucks (1991), os dois tipos de águas de irrigação utilizados na pesquisa apresentaram risco baixo de entupimento dos gotejadores. Já referente aos valores de dureza de cálcio e de magnésio, observou-se que ambos os casos o limite de  $150 \text{ mg L}^{-1}$ , proposto por Nakayama e Bucks (1991), foi ultrapassado, indicando um alto risco de entupimento. Todavia ressalta-se que ao se utilizar água residuária de fecularia o risco de entupimento dos gotejadores é bem mais elevado, conforme é observado na análise físico-química da água.

Constatou-se ainda na Tabela 2, alta concentração dos íons sódio ( $671,5 \text{ mg L}^{-1}$ ) e cloreto ( $6.035,0 \text{ mg L}^{-1}$ ) apresentando, de acordo com os limites estabelecidos por Ayers e Westcott (1999), restrição da água para uso na irrigação “Moderada” e “Severa”, respectivamente. A partir dos parâmetros analisados pode-se afirmar que a qualidade das águas utilizadas na irrigação, em especial da água residuária de fecularia, atenuou o processo de entupimento dos diferentes modelos de fitas gotejadoras ao decorrer do tempo de funcionamento pré-estabelecido, confirmando o que foi constatado nas Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart e de MMEP.

Segundo Melo *et al.* (2008), diversos fatores podem ocasionar o entupimento parcial ou completo de emissores e tubulações, afetando o fluxo de água e a distribuição de água ao longo da linha principal, de derivação e nas laterais, principalmente. Destacando dentre esses fatores a precipitação química de íons presentes na água de irrigação. Além da qualidade da água utilizada na irrigação, os autores Ribeiro, Coelho e Teixeira (2010) consideraram em sua pesquisa, no que se refere a caracterização do processo de entupimento, que a arquitetura interna dos gotejadores avaliados foi também um fator determinante no nível de entupimento dos gotejadores ao decorrer do tempo de funcionamento.

## 6 CONCLUSÃO

As cartas de controle estatístico de qualidade analisadas, constatou-se que as cartas de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) se mostraram mais sensíveis a variações de menor porte nos processos, uma vez que, além da presença de sequências ou tendências presentes também nas cartas de Shewhart, observou-se a extrapolação dos limites de controle

superiores, indicando problemas na maioria dos processos estudados.

Ao decorrer das 480h de irrigação percebeu-se os modelos de fitas gotejadoras M1 e M3 foram mais susceptíveis a problemas de entupimento quando irrigados com água residuária de fecularia diluída. O uso da água residuária de fecularia bruta não é recomendado para a irrigação localizada, devido aos altos de teores de dureza de cálcio e magnésio, sódio e cloretos.

## 7 REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR ISO 9261 de 08/2006**: Dispõe sobre equipamentos de irrigação agrícola, emissores, tubos emissores, especificação e métodos de ensaio. São Paulo: ABNT, 2006. Disponível em:

<https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/25492/abnt-nbriso9261-equipamentos-de-irrigacao-agricola-emissores-e-tubos-emissores-especificacao-e-metodos-de-ensaio>. Acesso em: 9 jan. 2022.

ARAÚJO, N. C.; LIMA, V. L. A.; RAMOS, J. G.; ANDRADE, E. M. G.; LIMA, G. S.; OLIVEIRA, S. J. C. Contents of macronutrients and growth of ‘BRS Marataoã’ cowpea fertigated with yellow water and cassava wastewater. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 14, n. 3, p. 1-12, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2309>. Disponível em: [http://www.ambi-agua.net/seer/files/Ambi\\_Agua\\_V14\\_N3.pdf](http://www.ambi-agua.net/seer/files/Ambi_Agua_V14_N3.pdf). Acesso em: 1 abr. 2022.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 2005. Disponível em: <https://www.standardmethods.org/doi/book/>

10.2105/SMWW.2882. Acesso em: 15 jan. 2022.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999.

BEZERRA, M. G. S.; SILVA, G. G. C.; DIFANTE, G. S.; EMERENCIANO NETO, J. V.; OLIVEIRA, E. M. M.; MORAIS, E. G. Chemical attributes of soil under cassava wastewater application in Marandugrass cultivation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 8, p. 579-585, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n8p579-585>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/RQhZ8Kd48XQ9CWvPdDzqBVB/?lang=en>. Acesso em: 24 mar. 2021.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 70, n. 4, p. 355-365, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1006/jaer.1998.0287>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021863498902876>. Acesso em: 13 dez. 2022.

CEARA. Resolução COEMA nº 2 de 2 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 21 de fevereiro de 2017. **Diário Oficial do Estado do Ceará**, Fortaleza, 2002. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=337973>. Acesso em: 01 dez. 2022.

CONCEIÇÃO, K. Z.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C.; REMOR, M. B.; BONAPARTE, D. I. Statistical control of the process applied to the monitoring of the water quality index. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 38, n. 6, p. 951-960, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n6p951-960/2018>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/hrPRHbMNxKyGd885vJQSFKN/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 02 fev. 2022.

COSTA, D. O.; VALE, H. S. M.; BATISTA, R. O.; SILVA, P. C. M.; LEMOS FILHO, L. C. A.; SANTOS, D. B. Susceptibilidade ao entupimento de gotejadores aplicando água residuária doméstica tratada. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 12, n. 4, p. 1251-1266, 2019. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n4p1251-1266>. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/5698>. Acesso em: 10 dez. 2021.

CRUZ, D. V.; CUNHA FILHO, M. C.; FALCÃO, A. P. S. T. Controle estatístico de processos aplicado ao monitoramento do pH e turbidez das águas no abastecimento de Campina Grande – PB. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 459-477, 2014. Disponível em: [http://jaguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v32/v32\\_n4/A1\\_DavidMoacir\\_Ana.pdf](http://jaguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v32/v32_n4/A1_DavidMoacir_Ana.pdf). Acesso em: 23 mar. 2022.

FERREIRA, D. J. L. **Controle estatístico de qualidade em sistema de irrigação por gotejamento utilizando efluente de reator anaeróbio**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

- GOMES, A. H. S.; LIMA, M. G. M.; FERREIRA, D. J. L.; VASCONCELOS, G. N.; PEDROZA, J. P.; LIMA, V. L. A. Controle estatístico aplicado a uniformidade de distribuição em unidades gotejadoras operando com água residuária. **Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 4, p. 719-727, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n4p719-727>. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4181>. Acesso em: 12 abr. 2022.
- GOUVEIA, M. A. C. **Controle estatístico da qualidade**. 1. ed. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018. Disponível em: [http://cm-kl-content.s3.amazonaws.com/201801/INTERATIVAS\\_2\\_0/CONTROLE\\_ESTADISTICO\\_DA\\_QUALIDADE/U1/LIVRO\\_UNICO.pdf](http://cm-kl-content.s3.amazonaws.com/201801/INTERATIVAS_2_0/CONTROLE_ESTADISTICO_DA_QUALIDADE/U1/LIVRO_UNICO.pdf). Acesso em: 10 jan. 2022.
- HERMES, E.; VILAS BOAS, M. A.; GONÇALVES, M. P.; GRIS, D. J.; LINS, M. A.; BERGER, J. S. Uniformidade de distribuição na irrigação por gotejamento com água residuária de processamento de mandioca. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 11, n. 2, p. 545-559, 2018. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2018v11n2p545-559>. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/4390>. Acesso em: 16 mar. 2022.
- MELO, M. C.; GUIMARÃES, L. M.; SILVA, P. L.; CAMARGO, D. D.; DRUMOND, L. C. D. Crescimento e produtividade de brachiaria adubada e irrigada por gotejamento subsuperficial. **Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 1, p. 112-130, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2020v25n1p112-130>. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3743/2628>. Acesso em: 20 fev. 2022.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- MORATA, G. T.; DANTAS, G. F.; DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F.; FARIA, R. T.; SANTOS, G. O. Entupimento de gotejadores com uso de efluente de esgoto tratado sob dois sistemas de filtragem. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 8, n. 2, p. 8 -97, 2014. DOI: [10.7127/rbai.v8n200227](https://www.researchgate.net/publication/273996928_Entupimento_de_Gotejadores_com_Uso_de_Efluente_de_Esgoto_sob_Dois_Sistemas_de_Filtragem). Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/273996928\\_Entupimento\\_de\\_Gotejadores\\_com\\_Uso\\_de\\_Efluente\\_de\\_Esgoto\\_sob\\_Dois\\_Sistemas\\_de\\_Filtragem](https://www.researchgate.net/publication/273996928_Entupimento_de_Gotejadores_com_Uso_de_Efluente_de_Esgoto_sob_Dois_Sistemas_de_Filtragem). Acesso em: 18 mar. 2022.
- NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Emitter clogging effects on trickle irrigation uniformity. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 24, p.77-80, 1991.
- ORSSATTO, F.; VILAS BOAS, M. A.; NAGAMINE, R.; URIBE-OPAZO, M. A. Shewhart's control charts and process capability ratio applied to a sewage treatment station. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p. 770-779, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000400016>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/XNkRxCFZYTpT56M4CghmYRD/?lang=en>. Acesso em: 17 jan. 2022.
- PEREIRA, V. G. M. F.; LOPES, A. S.; BELCHIOR, I. B.; FANAYA JÚNIOR, E. D.; PACHECO, A.; BRITO, M. K. M. Irrigação e fertirrigação no desenvolvimento de eucalipto. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 1100-1114, 2019. DOI: [10.5902/1980509823362](https://doi.org/10.5902/1980509823362). Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/36273286\\_Irigacao\\_e\\_fertirrigacao\\_no\\_de\\_senvolvimento\\_de\\_eucalipto](https://www.researchgate.net/publication/36273286_Irigacao_e_fertirrigacao_no_de_senvolvimento_de_eucalipto). Acesso em: 22 jan. 2022.

RAMOS, J. G.; LIMA, V. L. A.; PEREIRA, M. O.; NASCIMENTO, M. T. C. C.; ARAÚJO, N. C.; PEREIRA, M. C. A. Cultivo de milho híbrido com macronutrientes, urina humana e manipueira aplicados via fundação e fertirrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 2, p. 420-431, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n2p420-431>. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3956>. Acesso em: 12 dez. 2021.

REIS, K. M.; PALARETTI, L. F.; BARRETO, A. C.; ZANINI, J. R. Irrigação por gotejamento subsuperficial e fertirrigação da cultura brócolis. **Irriga**, Botucatu, v. 26, n. 2, p. 383-397, 2021. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2021v26n2p383-397>. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4070>. Acesso em: 10 fev. 2022.

RIBEIRO, P. A. A.; COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M. B.; Entupimento de tubos gotejadores convencionais com aplicação de cloreto de potássio (Branco e vermelho) via duas qualidades de água. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 279-287, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000200010>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/eagri/a/73GxKVxjt7k6SntzfpYzsC/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 16 jan. 2022.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, 1954. (Agriculture Handbook, n. 60). Disponível em: [https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/20360500/hb60\\_pdf/hb60complete.pdf](https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/20360500/hb60_pdf/hb60complete.pdf). Acesso em: 21 fev. 2021.

SZEKUT, F. D.; AZEVEDO, C. A. V.; BOAS, M. A. V.; ZUCOLOTTI, T. Hydraulic performance of drippers with different waters and lateral line slopes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 12, p. 813-818, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n12p813-818>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/mQqN9T87Kph8qbZcYnhBQkC/?lang=en>. Acesso em: 10 jan. 2022.

SOUSA, F. G. G.; CARVALHO, R. S. C.; MELO, M. R. M.; GRASI FILHO, H. Absorção de macronutrientes e sódio pelo tomateiro submetido a irrigação com e sem déficit hídrico, utilizando diferentes concentrações de água residuária. **Irriga**, Botucatu, v. 26, n. 1, p. 65-76, 2021. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2021v26n1p65-76>. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3878>. Acesso em: 08 mar. 2022.