

Efeito da fertirrigação com efluente de esgoto doméstico no desempenho de gotejadores autocompensantes

Effect of fertigation with domestic sewage effluent in the performance of self-compensating sprinklers

Valdemiro Pitoro¹, Rodrigo Sánchez Román², João Queluz³, Kevim Ventura⁴

RESUMO: A irrigação por gotejamento é o método confiável e eficiente para a aplicação de efluente de esgoto doméstico (EED) na fertirrigação agrícola, no entanto a sua maior fragilidade é a suscetibilidade à obstrução dos gotejadores. Objetivou-se nesta pesquisa avaliar o comportamento de gotejadores autocompensantes aplicando EED tratado em filtros anaeróbios. O experimento foi conduzido em dois sistemas de cultivo, nomeadamente; sistema de cultivo convencional (SCC) e vertical (SCV), e a irrigação realizada com água de diferentes qualidades (tratamentos): T1 - irrigação com 100% de efluente tratado (EFT); T2 - irrigação com 100% de água de abastecimento (AAB); e T3 - irrigação com 50% EFT e 50% AAB. A avaliação do efeito da qualidade da água de irrigação no desempenho dos gotejadores no SCC baseou-se no coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) e coeficiente de variação de fabricação (CVf), e para o SCV baseou-se no coeficiente de variação (Cv) da vazão. Os resultados obtidos indicam que os gotejadores de ambos os sistemas de cultivo apresentaram um excelente desempenho. Os valores de CUD e CUE foram superiores a 90%, portanto classificados como excelente; o CVf dos tratamentos T1 e T3 foram classificados como médio e o do T2 como excelente. O Cv da vazão em todos os tratamentos manteve-se abaixo de 7%, indicando que a qualidade da água de irrigação não alterou o padrão de operação dos gotejadores no SCV. Esses resultados permitem concluir que a irrigação com efluente esgoto tratado em filtros anaeróbios não afetou o desempenho dos gotejadores em ambos sistemas de cultivo, fato relacionado ao excelente desempenho apresentado pelo sistema de tratamento de EED aplicado nesta pesquisa.

Palavras-chave: Desempenho de gotejadores. Irrigação por gotejamento. Obstrução de gotejadores. Reúso de efluentes.

ABSTRACT: Irrigation by sprinklers is a trustworthy and efficient method for the application of domestic sewage effluent (EED) in agricultural fertigation. Its weakness lies in the possibility of sprinkler obstruction. Current paper evaluates the behavior of self-compensating sprinklers by applying EED treated in anaerobic filters. Assay was conducted in two culture systems: conventional culture (SCC) and vertical (SCV) systems, and irrigation with water of different qualities (treatments): T1 – irrigation with 100% treated effluent (EFT); T2 – irrigation with 100% tap water (AAB); T3 – irrigation with 50% EFT and 50% AAB. Evaluation of the effect of irrigation water quality in the performance of sprinklers in SCC was based on the coefficient of uniformity of distribution (CUD), the coefficient of statistic uniformity (CUE) and the coefficient of manufacturing variation (CVf); in the case of SCV, it was based on the coefficient of variation (Cv) of discharge. Result showed that sprinklers in both culture systems revealed excellent performance. CUD and CUE rates were higher than 90% and may be classified as excellent; CVf of treatments T1 and T3 were classified as fair and T2 as excellent. Cv of discharge in all treatments was below 7% and showed that water quality of irrigation water failed to change the standard of sprinklers in SCV. Irrigation with sewage effluent treated in anaerobic filters did not affect the performance of sprinklers in the two culture systems and revealed excellent performance by EED treatment applied.

Keywords: Irrigation by sprinklers. Obstruction of sprinklers. Performance of sprinklers. Reuse of effluents.

Autor correspondente:

Valdemiro Pitoro: vpitoro@gmail.com

Recebido em: 29/04/2020

Aceito em: 22/05/2021

¹ Mestrado em Agronomia (Irrigação e Drenagem), Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia, Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” (Unesp), Docente permanente na Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade de Lúrio (Unilúrio), Sanga, Niassa, Moçambique.

² Pós-doutorado, Gerenciamento de Bacias Hidrográficas, Departamento de Engenharia de Biosistemas, Docente permanente no Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” (Unesp), Botucatu, São Paulo, Brasil.

³ Doutorado em Agronomia (Irrigação e Drenagem), Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia, Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” (Unesp), Botucatu, São Paulo, Brasil.

⁴ Mestrado em Agronomia (Irrigação e Drenagem), Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia, Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” (Unesp), Botucatu, São Paulo, Brasil.

INTRODUÇÃO

A escassez de recursos hídricos e seus impactos na agricultura têm incentivado a busca por fontes de água alternativas para garantir a continuidade e sustentabilidade da atividade agrícola (WANG; LI; LI, 2017). Neste contexto, o reúso de efluentes de esgoto doméstico na irrigação agrícola é considerado uma estratégia importante para redução da escassez de recursos hídricos (CHAUHAN; KUMAR, 2020; CHERFOUH *et al.*, 2018a; KHALID *et al.*, 2018; LIBUTTI *et al.*, 2018), na medida em que pode substituir parcial ou totalmente a água de boa qualidade na irrigação de culturas, como também pode contribuir para a redução de custos e impactos ambientais do descarte dos efluentes nos corpos de água (CHAUHAN; KUMAR, 2020; CHERFOUH *et al.*, 2018b; CHOJNACKA *et al.*, 2020; LIBUTTI *et al.*, 2018; URBANO *et al.*, 2017).

A reciclagem de nutrientes e matéria orgânica em particular são outros benefícios essenciais do reúso de EED na fertirrigação, pois compreendem alternativas econômicas importantes para manter a fertilidade e a produtividade do solo (ARAÚJO *et al.*, 2020; CHAUHAN; KUMAR, 2020; CHERFOUH *et al.*, 2018b; CHOJNACKA *et al.*, 2020), permitindo que os agricultores reduzam ou até eliminem a aplicação de fertilizantes convencionais em seus campos de produção (CHOJNACKA *et al.*, 2020; JEONG *et al.*, 2016; URBANO *et al.*, 2017).

Vários estudos comprovaram o efeito positivo da fertirrigação (técnica de aplicação de nutrientes às plantas pela água de irrigação (INCROCCI; MASSA; PARDOSSI, 2017; JOS EACUTE *et al.*, 2016)) com efluentes de esgoto na produtividade das culturas (CHOJNACKA *et al.*, 2020; DEMIR; SAHIN, 2017; VERGINE *et al.*, 2017; WANG; LI; LI, 2017). No entanto, apesar dos inúmeros benefícios proporcionados pelo reúso de EED na fertirrigação agrícola, é importante realçar que a aplicação inadequada pode ser prejudicial aos produtores e consumidores, plantas, animais e ao solo (BALKHAIR, 2016), assim como pode contribuir para obstrução dos gotejadores e conseqüentemente alterar as suas características operacionais (SHAKIR; ZAHRAW; AL-OBAIDY, 2017; URBANO *et al.*, 2017), pois diferente da água potável, os efluentes de esgoto geralmente contêm altas concentrações de bactérias, vírus, sais e metais pesados, dependendo da sua fonte e tratamentos (SALGOT; FOLCH; UNIT, 2018; WANG; LI; LI, 2017).

O tratamento prévio e gestão cuidadosa dos efluentes de esgoto são fatores chaves a considerar para garantir um reúso sustentável. Chojnacka *et al.* (2020) defendem que o EED tratado (preferencial efluente secundário) é o mais adequado para fertirrigação, uma vez que é rico em nutrientes e apresenta baixa concentração de sólidos suspensos e poluentes orgânicos. Esses autores referem também que o tratamento terciário não é necessário quando se pretende fazer o reúso do efluente tratado para fertirrigação. O EED bruto, embora seja considerado uma fonte alternativa de água, sobretudo no países em desenvolvimento (MALEKSAEIDI *et al.*, 2018), o seu reúso não é recomendado para fertirrigação agrícola (KHALID *et al.*, 2018), porque tem graves conseqüências socioeconômicas e implicações irreversíveis ao meio ambiente e ao desempenho dos sistemas de irrigação.

Devido à sua elevada eficiência de aplicação de água e baixo risco de contaminação dos produtos agrícolas e operadores de campo, o sistema de irrigação localizada, sobretudo a irrigação por gotejamento, é mais adequado para aplicação de efluentes de esgoto na fertirrigação agrícola (AHMAD; KHAN, 2017; BATISTA *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2019; SINGH *et al.*, 2020; VALE *et al.*, 2018), no entanto, ao mesmo tempo, a obstrução dos gotejadores é um dos maiores problemas enfrentados pelos agricultores durante a sua aplicação (BATISTA *et al.*, 2013; VALE *et al.*, 2018), que geralmente resulta na alteração das características operacionais do sistema de irrigação e reduz os benefícios do sistema de irrigação.

A obstrução dos gotejadores em sistemas de irrigação por gotejamento é resultado de diversos fatores, no entanto a baixa qualidade da água usada é, no geral, considerada a principal causa (CAPRA; SCICOLONE, 1998; NAKAYAMA; BUCKS, 1991), com destaque para a presença de partículas sólidas, precipitados de sais e micro-organismos na água de irrigação (ZHOU *et al.*, 2016). Quando se trabalha com efluentes de esgoto este problema torna-se mais sério (JASIM *et al.*, 2016), requerendo portanto uma combinação de métodos de tratamento para obter-se efluente tratado de qualidade aceitável a aplicar na irrigação por gotejamento.

Pesquisas relacionadas à avaliação do desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento (BATISTA *et al.*, 2013; REZNIK *et al.*, 2017; VALE *et al.*, 2020), operando com efluente de esgoto tratado e não tratado, mostraram uma alteração significativa das características operacionais dos sistemas (variando de moderada a severa), sendo que em alguns casos a alteração foi aumentando com tempo de operação do sistema. Esses autores foram unânimes ao indicar os sólidos suspensos, ferro total e população bacteriana como sendo as fontes que representam risco severo de obstrução de gotejadores.

Para reduzir a obstrução dos gotejadores tem se indicado diversas técnicas, sendo a filtragem a mais comum e altamente difundida (MIRANDA *et al.*, 2012; SOLÉ-TORRES *et al.*, 2019), que segundo Capra e Scicolone (2004) trata-se de uma técnica simples, econômica e de fácil operação. No entanto, não evita completamente o problema de obstrução de gotejadores (ELAMIN *et al.*, 2017), sobretudo quando se aplica efluentes de esgoto (SOLÉ-TORRES *et al.*, 2019).

Existem atualmente diferentes tipos de filtros disponíveis no mercado, sendo que os mais usados na irrigação por gotejamento são filtro de areia, filtro de tela, filtro de hidrociclone e filtro de discos (KANNAN *et al.*, 2020). Desses, os filtros de areia são os que proporcionam melhor proteção aos sistemas de irrigação por gotejamento quando se aplica EED, pelo fato de apresentarem elevada capacidade de retenção de matéria orgânica e inorgânica (SOLÉ-TORRES *et al.*, 2019).

Diante do exposto, percebe-se que a obstrução de gotejadores constitui um fator limitante para o reúso de EED tratado na irrigação por gotejamento. O sucesso dessa prática está condicionado à contínua investigação de tecnologias de tratamento que proporcionem efluente tratado de qualidade aceitável, para garantir que os sistemas de irrigação possam utilizá-los sem limitações ou com menores riscos de obstrução de gotejadores e à saúde humana. Portanto, os objetivos desta pesquisa são: (1) avaliar o efeito da aplicação de EED tratado em filtros anaeróbios no desempenho de gotejadores autocompensantes; e (2) examinar o desempenho do sistema de tratamento de EDD adotado, sobretudo no que se refere à qualidade do efluente tratado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na área experimental do Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA), na Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Botucatu - São Paulo, nas coordenadas 22° 50' 48" S, 48° 26' 06" W e altitude de 817,74 m. O clima da região é definido como do tipo Cfa (Köppen): clima subtropical úmido (mesotérmico) com verão chuvoso e inverno seco, a temperatura média do mês mais quente é superior a 22 °C e a precipitação média anual em torno de 1.501,4 mm.

A estação de tratamento de efluentes (ETE) de esgoto compreendeu um leito composto por seis filtros (Figura 1) confeccionados em barris plásticos de 200 L, com dimensões de 0,90 m de altura e 0,50 m de diâmetro interno (chegando a 0,54 m no centro do barril), preenchidos totalmente de brita #1, dispostos na vertical e ligados em série através de tubulação PVC de 32 mm, sendo o fluxo da água vertical e descendente,

e o nível da mesma mantido a 10 cm da superfície do barril, proporcionando porosidade média de 48% em relação ao material inerte, o correspondente a taxa de aplicação diária de 95 litros e tempo de detenção hidráulica de 4,66 dias.



Figura 1. Estação de tratamento de efluentes de esgoto doméstico instalada na área experimental do Departamento de Engenharia Rural *Campus* da FCA-Unesp, Botucatu

Fotos: Valdemiro Pitoro (2018)

510

A ETE operou por período de 165 dias, e durante esse período foram realizadas cinco amostragens do efluente tratado (EFT) e efluente pré-tratado da Estação de Tratamento de Esgoto Doméstico de Botucatu (considerado como afluente nesta pesquisa) (AF). A primeira coleta de amostras foi realizada 45 dias após o início da operação da ETE e as demais realizadas em intervalos de 30 dias. Os parâmetros analisados foram: pH, condutividade elétrica (CE), sólidos suspensos totais (SST), sólidos dissolvidos totais (SDT), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), concentração de nitrogênio (NT), fósforo (PT), potássio (K), coliformes totais (CT) e coliformes fecais (*E. Coli*). A coleta, preservação e análise das amostras do afluente e efluente tratado baseou-se nas recomendações e métodos do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

A unidade de reúso compreendeu dois sistemas de cultivo (Figura 2) de couve-manteiga, que decorreu em dois ciclos de 60 dias cada. O sistema de irrigação do cultivo convencional (no solo) era composto por 12 canteiros, com espaçamento de 0,8 metros entre eles, a cada canteiro foi disposta uma linha de gotejo com comprimento de 5,4 metros. O sistema de irrigação do cultivo vertical (no barril) (Figura 2b) era composto de três barris plásticos semelhantes aos barris utilizados na ETE, e em cada barril foi disposta uma linha de gotejo com 9 m de comprimento, instalada de acordo com Ventura *et al.* (2017).



Figura 2. Vista geral da área experimental e coleta de amostras de vazão no campo e na bancada
 Vista geral da unidade experimental (a); instalação das linhas de gotejo no sistema de cultivo vertical (b); coleta de amostras da vazão dos gotejadores do sistema de cultivo convencional (c); e vertical (d) na banca do Laboratório de Irrigação.
 Fonte: Fotos Valdemiro Pitoro, 2018).

A linha de gotejo utilizada era de gotejadores autocompensantes, do tipo *in-line*. A vazão do gotejador indicado nas especificações é de $2,5 \text{ L h}^{-1}$, pressão nominal de serviço a $1,5 \text{ bar}$, espaçamento de $0,6 \text{ m}$ e espessura da parede do tubo de $0,65 \text{ mm}$.

As irrigações foram realizadas diariamente, sendo o volume aplicado correspondente à evapotranspiração da cultura (ET_c), calculado considerando-se a evapotranspiração de referência (ET_0) estimada pelo método de Penman-Monteith (dados obtidos na plataforma *Web* da Estação Meteorológica Lageado) e o coeficiente de cultivo (k_c) para cada fase de desenvolvimento fenológico de couve-manteiga, sendo apresentados por Marouelli (2017) valores de $0,55$ (durante 10 dias na Fase I - correspondente a fase de estabelecimento da cultura); $0,7$ (20 dias na Fase II - crescimento contínuo das plantas); $1,0$ (20 dias na Fase III - formação da produção); e $0,95$ (10 dias na Fase IV - até ao final da colheita).

Após a instalação do sistema de irrigação para o cultivo convencional, foram realizados testes para a determinação de Coeficiente de Uniformidade de Distribuição - CUD (Eq. 2), Coeficiente de Uniformidade Estatístico - CUE (Eq. 3) e Coeficiente de Variação de Fabricação - CVf (Eq. 4). Para tal, adotando-se a metodologia proposta por Keller e Karmeli (1975), foram coletadas amostras de vazão aplicada em quatro gotejadores ao longo da linha lateral, sendo: o primeiro gotejador, o gotejador na posição $1/3$ da linha lateral, o gotejador situado na posição $2/3$ e o último gotejador. No total, foram testadas 12 linhas (em grupos de quatro linhas); sendo que cada ciclo de testes era realizado três repetições nos mesmos gotejadores com duração de $3,5$ minutos, coletando-se o volume aplicado por cada gotejador em recipientes plásticos de 1000 mL posicionados abaixo do emissor (Figura 2c), e quantificando-se o volume coletado em proveta de 1000 mL ; empregando-se, por fim, a Equação 1 para o cálculo da vazão do emissor (q_i).

$$q_i = \frac{\text{Vol}}{1000 * \text{tem}} * \theta \quad (1)$$

Onde:

q_i - vazão do emissor ($L h^{-1}$);

Vol - volume coletado em cada gotejador (mL);

tem - tempo de coleta em cada gotejador (minutos).

$$\text{CUD} = 100 * \left(\frac{q_{25}}{q_m} \right) \quad (2)$$

Onde:

CUD - Coeficiente de uniformidade de distribuição de água, expresso em percentagem;

q_{25} - valor médio dos 25% menores valores de vazões observadas, $L h^{-1}$;

q_m - vazão média dos gotejadores, $L h^{-1}$.

$$\text{CUE} = \left(1 - \frac{S_q}{q_m} \right) \quad (3)$$

Onde:

CUE - coeficiente de uniformidade estatístico, expresso em percentagem;

S_q - desvio-padrão da vazão dos gotejadores, $L h^{-1}$;

q_m - vazão média dos gotejadores, $L h^{-1}$.

$$\text{CVf} = \left(\frac{S_q}{q_m} \right) \quad (4)$$

Onde:

CVf - coeficiente de variação de fabricação, expresso em percentagem;

S_q - desvio-padrão da vazão dos gotejadores, $L h^{-1}$;

q_m - vazão média dos gotejadores, $L h^{-1}$.

No SCV, não sendo possível mobilizar as linhas de gotejo no decorrer do experimento, apenas foram realizadas duas avaliações, sendo a primeira na condição de gotejadores novos e a segunda após 26 horas de operação. A avaliação das linhas de gotejo alocadas ao SCV visava determinar o Coeficiente de Variação (Cv) da vazão. A execução da avaliação teve como referência os procedimentos indicados na norma NBR ISO 9261 (ABNT, 2006). Essa norma indica que para a determinação do Cv da vazão deverão ser tomadas amostras de 25 gotejadores; no entanto, a cada barril foi alocada uma linha com 15 gotejadores, e a bancada apenas permitiu ensaiar linhas de seis metros (o equivalente a nove gotejadores) por cada tratamento.

A avaliação destas linhas foi realizada no Laboratório de Irrigação. A bancada de ensaio (Figura 2d) na qual foram realizados os testes é composta por quatro linhas de 6 metros de comprimento cada (tendo sido usadas apenas três linhas), possui um depósito de água com capacidade de 500 L e uma eletrobomba para pressurizar as tubulações. A bancada possui também: um filtro de tela metálica de 200 mesh, manômetros e válvulas. Os manômetros foram aferidos antes do início do ensaio, e os testes feitos para a pressão de 5, 10 e 15 mca com duração de 5 minutos cada e 3 repetições para cada pressão de operação. Ao fim do experimento, retirou-se as linhas dos barris e novamente foram testadas.

Para determinar o efeito da irrigação com efluente tratado (EFT) no desempenho das linhas de gotejo, adotou-se três tratamentos, nomeadamente: T1 - linhas de gotejo aplicando 100% EFT coletado no filtro 6 (100% EFT 6); T2 - linhas de gotejo aplicando 100% água de abastecimento (100% AAB); e T3 - linhas de gotejo aplicando 50% EFT 6 e 50% AAB. Os coeficientes estudados no sistema de cultivo convencional foram categorizados de acordo com as classificações propostas por Merriam e Keller (1978) para CUD, Bralts (1986) para CUE e CVf de acordo com a Norma ASAE EP405.1 (2000). No sistema de cultivo vertical, foi adotado o CV da vazão para interpretar o efeito da irrigação com EFT no desempenho das linhas de gotejo. Segundo a norma NBR ISO 9261 (ABNT, 2006), a vazão média da amostra não deve divergir da vazão nominal (q_n) por mais que $\pm 7\%$; e o Cv da vazão da amostra não deve exceder 7%.

Os resultados de cada ciclo de ensaios foram submetidos à análise de variância para verificar se houve ou não efeito da qualidade de água de irrigação no desempenho operacional das linhas de irrigação. A análise estatística considerou três tratamentos (T1 - 100% EFT 6, T2 - 100% AAB e T3 - 50% EFT 6 & 50% AAB), três repetições e um delineamento inteiramente casualizado, com medidas repetidas no tempo, sendo cinco tempos no SCC e dois tempos no SCV. As variáveis que mostraram diferenças significativas foram submetidas ao teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, com auxílio do *Software Sisvar* versão 5.6 (FERREIRA, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 DESEMPENHO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Com base nos resultados apresentados na Tabela 1, observa-se que não ocorreu variação na qualidade do EFT em relação ao AF. Os valores de pH do EFT encontram-se dentro da faixa considerada adequada (pH entre 6,5 e 8,5) para reúso do efluente na irrigação segundo Ayers e Westcot (1985). O intervalo de CE da água aceitável para o uso na irrigação varia de 0 - 3 dS cm^{-1} (AYERS; WESTCOT, 1985); quanto maior for o valor de CE, maiores são os riscos de submeter o solo a concentrações elevadas de sais, principalmente quando a irrigação é feita de forma inadequada.

Tabela 1. Caracterização física, química e microbiológica da água utilizada na irrigação e do efluente Sabesp. Valores médios de cinco avaliações, ao longo da pesquisa

Parâmetros	AAB	AF	EFT
pH	6,82	7,49	7,89
CE (dS cm^{-1})	0,35	0,69	0,61
SST (mg L^{-1})	4,17	629,07	2,10
SDT (mg L^{-1})	49,50	340,10	318,90
DBO (mg L^{-1})	8,85	70,80	26,24
DQO (mg L^{-1})	23,00	800,78	26,78
CT (NMP 100 mL^{-1})	7,26E+03	4,79E+09	6,07E+04

AAB - água de abastecimento; AF - afluente; EFT - efluente tratado; CE - condutividade elétrica; SST - sólidos suspensos totais; SDT - sólidos dissolvidos totais; DBO - demanda bioquímica de oxigênio; DQO - demanda química de oxigênio; e CT - coliformes totais.

De acordo com os parâmetros propostos por Ayers e Westcot (1985) e Jeong *et al.* (2016), EFT com CE inferior a $0,7 \text{ dS cm}^{-1}$ não é restringido de uso na irrigação, até mesmo para culturas sensíveis à salinidade. Assim, de acordo com esses parâmetros, o EFT da presente pesquisa apresenta qualidade satisfatória para reúso em irrigação sem restrições; ou não seria necessário a adoção de práticas especiais de controle de salinidade do solo (FISCHER FILHO *et al.*, 2012).

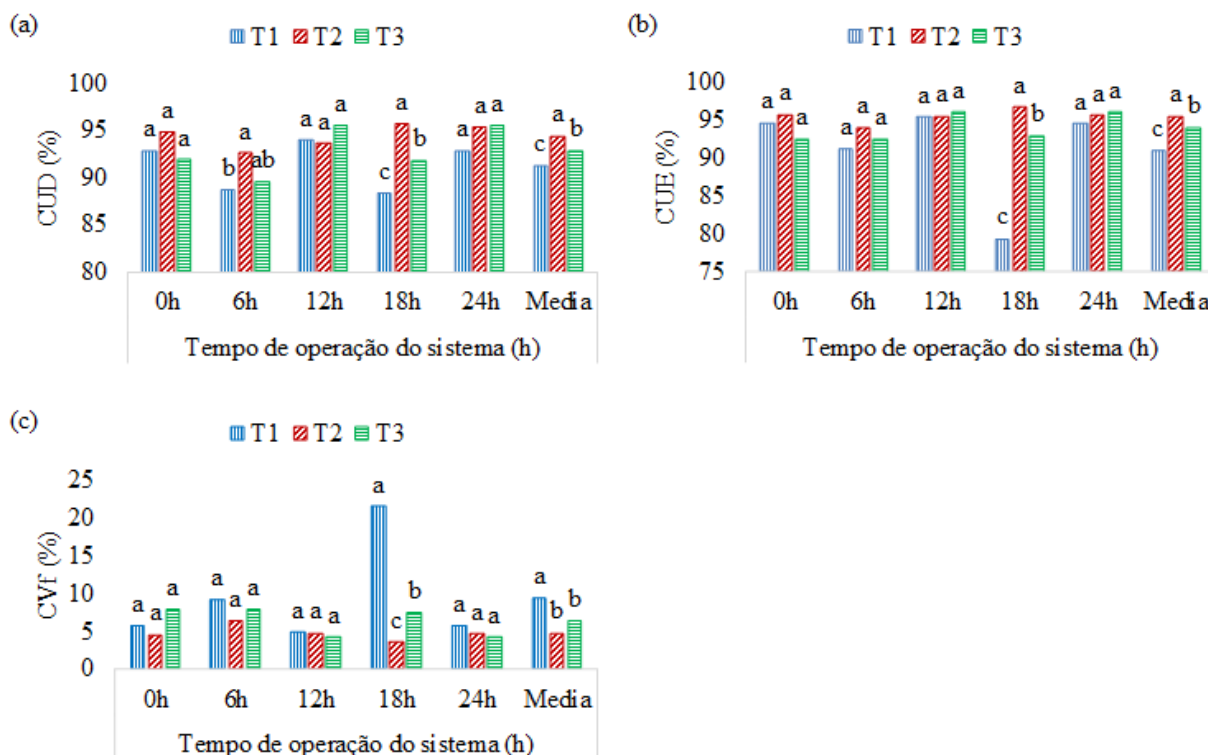
Com relação à redução de SST, DBO, DQO e CT, o sistema de tratamento mostrou-se bastante eficiente, tendo registado redução de SST na ordem de 100%; resultados superiores aos obtidos por Fia, De Matos e Fia (2013), que obtiveram redução de SST na ordem de 74%, estudando sistema de tratamento em filtros anaeróbios seguido por dois sistemas alagados.

A redução da DBO e DQO situou-se respectivamente na ordem de 62,9% e 96,7%; registando-se no EFT valores de DBO e DQO em torno de $26,24 \text{ mg L}^{-1}$ e $26,78 \text{ mg L}^{-1}$ respectivamente. Os valores de DBO da água para irrigação de culturas consumidas cozidas e plantas consumidas cruas não devem ser superiores a 30 mg L^{-1} e 10 mg L^{-1} respectivamente (US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY [EPA], 2012). Tonetti *et al.* (2004)-obtiveram valores de redução de DBO superiores a 98% estudando um sistema alternativo de tratamento de efluentes constituído de filtro anaeróbio (com material suporte de bambu) seguido de um filtro de areia; nesse sistema, se observou que os filtros anaeróbios proporcionaram redução de DBO na ordem de 47%. Os mesmos autores referem que apesar dos filtros anaeróbios comumente apresentarem boa eficiência, entre 10% a 30% da matéria orgânica não é degradada, o que limita que o seu efluente atenda ao padrão de qualidade requerido pela legislação brasileira, e para tal necessitando de pós-tratamento.

Apesar da redução de DBO ter-se apresentado relativamente baixa comparado ao encontrado na literatura, importante referir que os resultados obtidos atendem ao estabelecido por EPA (2012) para irrigação de culturas consumidas cozidas (inferior a 30 mg L^{-1}); e a faixa provável de remoção de poluentes (representada por DBO) prevista na NBR 13.969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997) para filtros anaeróbios.

3.2 CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

Em ambos os sistemas de cultivo, os gotejadores operaram durante aproximadamente 26 horas, o que permitiu realizar cinco avaliações no sistema de cultivo convencional, sendo a primeira feita na condição de gotejadores novos e as demais feitas para 6h, 12h, 18h e 24h de operação do sistema de irrigação.



T1 – 100% EFT; T2 – 100% AAB; T3 – 50% EFT e 50% AAB; CUD – coeficiente de uniformidade de distribuição; CUE – coeficiente de uniformidade estatístico; CVf – coeficiente de variação de fabricação. Médias que não partilham a mesma letra por cada ciclo de ensaios são significativamente diferentes, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Gráfico 1. Valores médios de CUD, CUE, CVf e resultados estatísticos da avaliação do desempenho das linhas de gotejo no sistema de cultivo convencional por cada ciclo de ensaios

Com base nos resultados obtidos (Gráfico 1) observa-se que os gotejadores alocados ao SCC apresentaram um desempenho satisfatório em todos os tratamentos, pois os valores de CUD (Gráfico 1a) e CUE (Gráfico 1b) foram superiores a 90%, que segundo Merriam e Keller (1978) e Bralts (1986) são classificados como excelente. Com relação à CVf (Gráfico 1c), os resultados obtidos nos tratamentos T1 e T3 são classificados como médios e no tratamento T2 é classificado como excelente, segundo a Norma ASAE EP405.1 (2000).

Em praticamente todos os ensaios realizados no SCC, os menores valores de CUD e CUE, e maiores de CVf foram registrados no tratamento T1; no entanto, a acentuada variação desses coeficientes no ensaio realizado no tempo de operação de 18h pode ser atribuída a fatores não relacionados ao efeito da irrigação com EFT sobre o desempenho das linhas gotejo, por exemplo, uma possível variação da pressão de operação do sistema que passou despercebida. Diversas pesquisas avaliando o desempenho de gotejadores aplicando efluentes de esgoto observaram que CUD e CUE diminuem na medida que aumenta o tempo de operação do sistema (LIU; HUANG, 2009; MACAN *et al.*, 2017), sendo que a desobstrução dos gotejadores e consequente aumento do CUD e CUE, ou diminuição do CVf, só é possível após a limpeza desses (COSTA *et al.*, 2019).

O melhor desempenho hidráulico foi observado nas linhas de gotejo que receberam água de abastecimento, tendo apresentado maiores valores de CUD e CUE, e menor valor de CVf; enquanto as linhas que receberam efluente tratado apresentaram menores valores de CUD e CUE, e maior valor de CVf. A análise estatística descritiva (valores médios de CUD, CUE e CVf dos tratamentos estudados) (Gráfico 1) indica que o desempenho das linhas de gotejo que receberam T1 foi diferente do desempenho das linhas que receberam T2 e T3.

Esses resultados podem ser associados à diferença na qualidade do EFT e AAB, corroborando com o argumento de que a irrigação com efluentes geralmente apresenta maiores riscos de formação de incrustações nas paredes internas das linhas de gotejo, contribuindo para alteração das características operacionais destas em relação à irrigação com água de abastecimento, tal como observado por Liu e Huang (2009).

Avaliações parciais (valores médios de CUD, CUE e CVf de cada ciclo de ensaios) (Gráfico 1) mostram que o desempenho das linhas de gotejo do T1 foi diferente das linhas do T2 nos ensaios realizados nos tempos de 6h e 18h de operação do sistema de irrigação, períodos nos quais no T1 foram registrados valores de CUD inferiores a 90%, CUE inferior a 80% e CVf superior a 15%. No último ensaio, após 24h de operação do sistema de irrigação, as linhas de gotejo do T1 e T3 que receberam efluentes apresentaram CUD e CUE superiores a 90% e CVf em torno de 5%, demonstrando que a aplicação de EFT não influenciou significativamente ao desempenho do sistema de irrigação ou que a ETE proporcionou efluente de qualidade adequada para uso em irrigação por gotejamento.

Dantas *et al.* (2014), avaliando sistema de irrigação por gotejamento aplicando efluente doméstico tratado em filtro anaeróbio, decanto digestor + filtro anaeróbio e reator UASB, também observaram oscilações significativas nos valores de CUD e CUE ao longo do experimento, nos tratamentos com efluente tratado; e na última avaliação aos 101 dias após a semeadura, registraram valores de CUD e CUE superiores a 90% e associaram o bom desempenho à eficiência dos sistemas de tratamento de esgoto e sistema de filtragem, comportamento semelhante ao observado nesta pesquisa.

Os resultados de análises estatísticas apresentados nas Tabelas 2 indicam que não houve diferenças significativas entre os tratamentos estudados com relação à vazão dos gotejadores, o que mostra que a irrigação com EFT no SCV não afetou o desempenho hidráulico das linhas de irrigação. A vazão média dos gotejadores (Tabelas 2 e 3) divergiu da vazão nominal (2,5 L h⁻¹), tanto para os testes realizados antes como depois do experimento; no entanto, essa divergência foi mais expressiva nos ensaios realizados após 26h de operação do sistema, nos quais foi registrada uma redução da vazão média na ordem de 40% em todos os tratamentos operando a pressão de 0,5 bar em relação à vazão dos gotejadores na condição de novos operando na mesma pressão, e um aumento de 12,8% na linha irrigada com 100% EFT (T1) ensaiada a pressão de 1,0 bar. Nos demais, a divergência não superou o limite indicado pela NBR ISO 9261 (ABNT, 2006), estabelecido em $\pm 7\%$.

Tabela 2. Valores médios e resultados estatísticos da vazão dos emissores nos ensaios realizados antes e depois do experimento

Trat.	Emissores 0 h de operação				Emissores 26 h de operação			
	0,5 bar	1,0 bar	1,5 bar	DMS	0,5 bar	1,0 bar	1,5 bar	DMS
Vazão média (L h ⁻¹)								
T1	2,57 aA	2,73 aA	2,64 aA	0,59	1,56 aA	2,82 bA	2,69 bA	0,59
T2	2,55 aA	2,61 aA	2,55 aA	0,59	1,55 aA	2,68 bA	2,54 bA	0,59
T3	2,57 aA	2,65 aA	2,61 aA	0,59	1,53 aA	2,59 bA	2,52 bA	0,59
DMS	0,59	0,59	0,59		0,59	0,59	0,59	
Coeficiente de variação da vazão (%)								
T1	2,18 aA	2,89 aA	2,58 aA	1,49	2,10 aA	4,69 bA	4,21 bA	1,49
T2	1,77 aA	2,89 aA	1,63 aA	1,49	2,83 aA	2,77 aB	2,50 aB	1,49
T3	1,27 aA	2,36 aA	2,49 aA	1,49	2,47 aA	3,32 aAB	2,81 aAB	1,49
DMS	1,49	1,49	1,49		1,49	1,49	1,49	

T1 – 100% EFT; T2 – 100% AAB; T3 – 50% EFT e 50% AAB; Qm – vazão média; DMS – diferença mínima significativa. Médias que não partilham a mesma letra minúscula na linha e médias que partilham a mesma letra maiúscula na coluna são significativamente diferentes, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A redução da vazão dos gotejadores observada no ensaio realizado após a conclusão do experimento (26h de operação) na pressão de operação de 0,5 bar em relação aos ensaios na pressão de 1,0 bar e 1,5 bar pode estar relacionada ao processo de obstrução dos gotejadores, pois, pelo fato das linhas de gotejo no sistema de cultivo vertical terem operado na condição subsuperficial, pode ter ocorrido a obstrução pelo substrato ou por intrusão radicular e a pressão de 0,5 bar, sendo inferior a pressão de serviço dos gotejadores (1,5 bar), não foi suficiente para libertar as partículas aderidas aos gotejadores.

O Cv da vazão (Tabela 3) em todos os tratamentos manteve-se abaixo de 7%, que é o limite estabelecido na NBR ISO 9261 (ABNT, 2006), indicando que a irrigação com efluente tratado não afetou o padrão de operação dos gotejadores alocados nos diferentes tratamentos. No entanto, se observou um ligeiro aumento no tratamento 100% EFT 6 (T1), na pressão de 1,0 e 1,5 bar do ensaio pós-experimento, registrando-se um Cv de vazão de 4,7% e 4,2% respectivamente, acima dos demais que em média mantiveram-se abaixo de 3%.

Tabela 3. Valores médios e resultados estatísticos da vazão dos emissores e coeficientes de variação nos ensaios em diferentes pressões realizados antes e depois do experimentos

Trat.	Pressão 0,5 bar			Pressão 1,0 bar			Pressão 1,5 bar		
	0h	26h	DMS	0h	26h	DMS	0h	26h	DMS
Vazão média (L h ⁻¹)									
T1	2,57 a	1,56 b	0,49	2,73 a	2,82 a	0,49	2,64 a	2,69 a	0,49
T2	2,55 a	1,55 b	0,49	2,61 a	2,68 a	0,49	2,55 a	2,54 a	0,49
T3	2,57 a	1,53 b	0,49	2,65 a	2,59 a	0,49	2,61 a	2,52 a	0,49
Coeficiente de variação da vazão (%)									
T1	2,18 a	2,10 a	1,24	2,89 b	4,69 a	1,24	2,58 b	4,21 a	1,24
T2	1,77 a	2,83 a	1,24	2,89 a	2,77 a	1,24	1,63 a	2,50 a	1,24
T3	1,27 a	2,47 a	1,24	2,36 a	3,32 a	1,24	2,49 a	2,81 a	1,24

T1 – 100% EFT; T2 – 100% AAB; T3 – 50% EFT e 50% AAB; DMS – diferença mínima significativa. Médias que não partilham a mesma letra na linha de pressão 0,5 bar, pressão 1,0 bar e pressão 1,5 bar são significativamente diferentes, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

3.3 AVALIAÇÃO DO RISCO DE OBSTRUÇÃO DOS GOTEJADORES

Os parâmetros adotados para avaliação do risco de obstrução dos gotejadores foram: pH, CE, SST, SDT e CT (representando o número de bactérias).

Durante o período da pesquisa, o pH do EFT e da AAB variou de 7,50 a 8,30 e 5,97 a 7,67 respectivamente, indicando que o risco de obstrução dos gotejadores é classificado como severo nas unidades de gotejadores do T1 (100% EFT) e moderado para os gotejadores do T2 (100% AAB) de acordo com Lamm, Ayars e Nakayama (2006) e Capra e Scicolone (1998), corroborando com os resultados obtidos por Macan *et al.* (2017) que registraram valores de pH da AAB em torno de $6,92 \pm 0,18$ e por isso classificando o risco de obstrução como baixo; Batista *et al.* (2013) com pH do EFT na ordem de $7,54 \pm 0,14$, e Batista *et al.* (2018) obtendo valores de pH do EFT na ordem de $7,61 \pm 0,55$ classificaram o risco de obstrução dos gotejadores como sendo severo.

Lamm, Ayars e Nakayama (2006) referem que temperatura, matéria orgânica solúvel e pH são fatores que influenciam no crescimento de bactérias e desenvolvimento de lodo. Adicionalmente, esses autores referem que valores de pH superiores a 7,2 podem propiciar a ocorrência de precipitados de carbonatos de cálcio e magnésio nos filtros, gotejadores e tubulações.

O EFT e a AAB apresentaram valores de CE, SST e SDT inferiores a $0,8 \text{ dS cm}^{-1}$, 50 mg L^{-1} e 500 mg L^{-1} respectivamente e, portanto, são classificados como de risco de obstrução baixa. Esses resultados diferem dos encontrados por Cunha *et al.* (2017) operando com efluente de laticínios diluído, onde obtiveram valores médios $1,24 \text{ dS cm}^{-1}$, 393 mg L^{-1} e 929 mg L^{-1} para CE, SST e SDT respectivamente, tendo classificado os parâmetros CE e SST como de risco de obstrução severo e SDT moderado segundo o proposto por Lamm, Ayars e Nakayama (2006).

Os níveis populacionais médios de CT no EFT e AAB foram de $6,07 \times 10^4$ e $7,26 \times 10^3$ respectivamente (Tabela 4); portanto, o risco de obstrução de gotejadores para ambas as fontes de água é classificado como baixo. Esses resultados corroboram com os resultados obtidos por Cunha *et al.* (2017), que se baseando também na classificação proposta por Lamm, Ayars e Nakayama (2006), definiram o risco de obstrução de gotejadores aplicando efluente de laticínio com média geométrica de CT na ordem de $3,77 \times 10^5 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$ como sendo baixo, pelo fato do nível populacional de CT ter sido inferior ao limite de $1 \times 10^6 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$.

Tabela 4. Caracterização físicas, químicas e microbiológicas de AAB e EFT, e sua classificação quanto ao risco de obstrução de gotejadores

Parâmetros	AAB	EFT	Risco de obstrução			
			Nakayama <i>et al.</i> (2006)		Capra e Scicolone (1998)	
			AAB	EFT	AAB	EFT
pH	6,82	7,89	b	s		
CE (dS cm^{-1})	0,35	0,61	b	b	b	b
SST (mg L^{-1})	2,1	4,17	b	b	b	b
SDT (mg L^{-1})	318	49,50	b	b		
CT ($\text{NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$)	$7,26 \times 10^3$	$6,07 \times 10^4$	b	b		

AAB – água de abastecimento; EFT – efluente tratado; b – baixo; s – severo.

Do ponto de vista hidráulico, os resultados apresentados na Tabela 4 permitem concluir que o sistema de tratamento de efluentes testado na presente pesquisa proporcionou EFT de qualidade aceitável para reúso na irrigação por gotejamento uma vez que o risco de obstrução de gotejadores foi classificado como baixo para a maioria dos parâmetros analisados. Dessa forma, a ligeira redução ou variação dos coeficientes de uniformidade observada, tanto nas linhas que receberam 100% EFT (T1), assim como nas linhas que receberam 100% AAB (T2), podem ser associada a fatores operacionais e não relativos à qualidade da irrigação.

As linhas de irrigação operando com o T3 (50% EFT e 50% AAB) apresentaram coeficientes de uniformidade superiores ao T1 (100% EFT), o que pode ser uma evidência da importância da limpeza rotineira de sistemas de irrigação por gotejamento para assegurar o seu bom desempenho por longos períodos.

É importante ressaltar que o reduzido tempo de operação do sistema de irrigação na presente pesquisa pode ter influenciado para a obtenção de valores de coeficientes de uniformidade ou coeficientes de variação considerados excelentes, pois os resultados encontrados na literatura mostram que o processo de obstrução de gotejadores é gradual, e valores de coeficientes de uniformidade abaixo de 80% aplicando EFT com características similares às dessa pesquisa foram registrados em tempos de operação superiores a 80 horas segundo Batista *et al.* (2013) e 36 horas na pesquisa de Batista *et al.* (2012).

4 CONCLUSÕES

O sistema de irrigação apresentou desempenho satisfatório, pois os coeficientes estudados apresentaram classificação variando entre bom e excelente.

Os valores de CUD, CUE e CVf apresentaram maior oscilação no tratamento T1 (100% EFT 06), como também foram diferentes dos valores obtidos no tratamento T2 (100% AAB) em algumas avaliações, concluindo-se que o uso de efluente tratado promoveu a queda do desempenho hidráulico dos gotejadores nas linhas de gotejo que aplicavam efluentes.

O risco de obstrução dos gotejadores foi classificado como baixo para os parâmetros CE, SST, SDT e CT, e severo para o parâmetro pH.

A classificação dos coeficientes estudados para avaliação do desempenho do sistema de irrigação variava entre bom e excelente; portanto, pode-se inferir que a aplicação de EFT não alterou o desempenho hidráulico dos gotejadores.

Pode-se inferir que o sistema modular de tratamento de efluentes proposto nesta pesquisa resultou em efluente de excelente qualidade para uso na irrigação por gotejamento.

5 AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos são endereçados ao Ministério da Ciência e Tecnologia Ensino Superior Técnico Profissional (MCTESTP - Moçambique) pela concessão da bolsa de estudos, e Universidade de Lúrio (FCA - UniLúrio) pela confiança. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelo apoio à pesquisa. À empresa Amanco pela doação dos equipamentos de irrigação utilizados nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AHMAD, A.; KHAN, S. Water and Energy Scarcity for Agriculture: Is Irrigation Modernization the Answer? **Irrigation and Drainage**, v. 66, n. 1, p. 34-44, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/ird.2021>

ARAÚJO, E. D.; SANTOS, S. R. dos; ALVES, P. F. S.; KONDO, M. K.; CARVALHO, A. J. de; FEITOSA, F. de M. Agronomic performance of common bean crops fertigated with treated sewage and mineral fertilizer TT - Desempenho agrônômico do feijoeiro-comum fertigado com esgoto sanitário tratado e adubação mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 8, p. 520-527, 2020. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662020000800520&lang=en%0Ahttp://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v24n8/1807-1929-rbeaa-24-08-0520.pdf

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13969**: Tanques sépticos-Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos-Projeto, construção e operação. p. 60, 1997. Disponível em: http://acguasana.com.br/legislacao/nbr_13969.pdf.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. Water Quality for Agriculture. [S. l.]: Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 1985. v. 29.

BALKHAIR, K. S. Microbial contamination of vegetable crop and soil profile in arid regions under controlled application of domestic wastewater. **Saudi journal of biological sciences**, v. 23, n. 1, p. S83-S92, 2016.

BATISTA, R. O.; SILVA, K. B.; SILVA JÚNIOR, M. J.; DOS SANTOS, D. B.; CUNHA, R. R. Performance of drip emitters for different pressures and application of cashew nuts wastewater. **DYNA (Colombia)**, v. 85, n. 204, p. 38-43, 2018. DOI: <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n204.64322>.

BATISTA, R. O.; MATOS, A. T.; CUNHA, F. F. da; LO MONACO, P. A.; SANTOS, D. B. dos; FRANÇA, F.; LO MONACO, P. A.; SANTOS, D. B. dos. Hydraulic performance of drip irrigation subunits using wastewater from coffee fruit processing. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 1, n. 1, p. 1-6, 2012. Disponível em: http://www.ufrb.edu.br/wrim/images/wrim-1-1-2012/WRIM.pdf_P.1-6.pdf.

BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, D. B. dos; OLIVEIRA, A. de F. M.; AZEVEDO, C. A. V. de; MEDEIROS, S. S. Obstrução e uniformidade de aplicação em sistemas de irrigação por gotejamento aplicando-se efluente da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 7, p. 698-705, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000700002>.

BRALTS, V. F. Field performance and evaluation. *In: Developments in agricultural engineering*, v. 9. p. 216-240. *E-book*. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-42615-4.50014-X>.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in Drip. Trickle Irrigation Systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 70, p. 355-365, 1998.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 68, n. 2, p. 135-149, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.03.005>.

CHAUHAN, J. S.; KUMAR, S. Wastewater ferti-irrigation: an eco-technology for sustainable agriculture. **Sustainable Water Resources Management**, v. 6, n. 3, p. 1-11, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40899-020-00389-5>.

CHERFOUH, R.; LUCAS, Y.; DERRIDJ, A.; MERDY, P. Long-term, low technicality sewage sludge amendment and irrigation with treated wastewater under Mediterranean climate: impact on agronomical soil quality. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 35, p. 35571-35581, 2018a. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3463-3>.

CHERFOUH, R.; LUCAS, Y.; DERRIDJ, A.; MERDY, P. Long-term, low technicality sewage sludge amendment and irrigation with treated wastewater under Mediterranean climate: impact on agronomical soil quality. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 35, p. 35571-35581, 2018b. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3463-3>.

CHOJNACKA, K.; WITEK-KROWIAK, A.; MOUSTAKAS, K.; SKRZYPCZAK, D.; MIKULA, K.; LOIZIDOU, M. A transition from conventional irrigation to fertigation with reclaimed wastewater: Prospects and challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 130, p. 109959, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109959>.

COSTA, D. D. O.; MARQUES VALE, H. S.; BATISTA, R. O.; MOURA DA SILVA, P. C.; LEMOS FILHO, L. C. D. A.; DOS SANTOS, D. B. Susceptibility of clogging of drippers when domestic home residual water is applied. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 4, p. 1251-1266, 2019. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n4p1251-1266>.

CUNHA, M. E. da; MARQUES, B. C. D.; BATISTA, R. O.; COSTA, A. G.; CUNHA, R. R. da; ANDRADE, A. T. S. de. Obstrução de Gotejadores Operando com Efluente de Laticínios Diluído. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 4, p. 1517-1527, 2017. DOI: <https://doi.org/10.7127/rbai.v11n400644>.

- DANTAS, D. C.; SILVA, E. F. F.; MÉLO, R. F.; DANTAS, M. S. M.; SILVA, G. F.; SILVA, M. M.; OTHERS. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento utilizando efluente domésticos. **IRRIGA**, v. 1, n. 1, p. 179-189, 2014.
- DEMIR, A. D.; SAHIN, U. Effects of different irrigation practices using treated wastewater on tomato yields, quality, water productivity, and soil and fruit mineral contents. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 32, p. 24856-24879, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0139-3>.
- ELAMIN, A. W. M.; ABD ELDAIAM, A. M.; ABDALLA, N. A.; HUSSAIN, M. E. Hydraulic performance of drip irrigation system under different emitter types, and operating pressures using treated wastewater at Khartoum state. **International Journal of Development and Sustainability**, v. 6, n. 9, p. 1086-1095, 2017.
- FERNANDES, R. K. A.; BATISTA, R. O.; SILVA, S. K. C.; OLIVEIRA, J. F.; PAIVA, L. A. L. Vazão de gotejadores aplicando água residuária da castanha de caju. **Irriga**, v. 19, n. 4, p. 585-597, 2014. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2014v19n4p585>.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a Computer Analysis System To Fixed Effects Split Plot Type Designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529, 2019. DOI: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.
- FIA, R.; DE MATOS, A. T.; FIA, F. R. L. Sistemas biológicos conjugados para o tratamento das águas do processamento dos frutos do cafeeiro: II - Remoção de nutrientes e compostos fenólicos. **Acta Scientiarum - Technology**, v. 35, n. 3, p. 451-456, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v35i3.13628>.
- FISCHER FILHO, J. A. *et al.* Performance of drippers in two filtering systems using sewage treatment effluent. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 6, p. 363-368, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n6p363-368>.
- INCROCCI, L.; MASSA, D.; PARDOSSI, A. New trends in the fertigation management of irrigated vegetable crops. **Horticulturae**, v. 3, n. 2, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020037>.
- JASIM, S. Y.; SATHTHASIVAM, J.; LOGANATHAN, K.; OGUNBIYI, O. O.; SARP, S. Reuse of Treated Sewage Effluent (TSE) in Qatar. **Journal of Water Process Engineering**, v. 11, p. 174-182, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2016.05.003>.
- JEONG, H.; SEONG, C.; JANG, T.; PARK, S. Classification of Wastewater Reuse for Agriculture: A Case Study in South Korea. **Irrigation and Drainage**, v. 65, p. 76-85, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/ird.2053>.
- JOS EACUTE, G. D. S.; JOAQUIM, J. C.; JOS EACUTE, M. R. da L.; JOS EACUTE, E. C. da S. Fertigation with domestic wastewater: Uses and implications. **African Journal of Biotechnology**, v. 15, n. 20, p. 806-815, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5897/ajb2015.15115>.
- KANNAN, B.; JANANI, N.; THANGAMANI, S.; SELVAPERUMAL, A. Development and Evaluation of Low Cost Drip Filter. v. 39, n. 8, p. 87-94, 2020. DOI: <https://doi.org/10.9734/CJAST/2020/v39i830596>.
- KHALID, S.; SHAHID, M.; NATASHA, BIBI I.; SARWAR, T.; SHAH, A. H.; NIAZI, N. K. A review of environmental contamination and health risk assessment of wastewater use for crop irrigation with a focus on low and high-income countries. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, n. 5, p. 1-36, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph15050895>.

- LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. **Microirrigation for crop production: design, operation, and management**. Amsterdam: Elsevier, 2006.
- LIBUTTI, A.; GATTA, G.; GAGLIARDI, A.; VERGINE, P.; POLLICE, A.; BENEDEUCE, L.; DISCIGLIO, G.; TARANTINO, E. Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions. **Agricultural Water Management**, v. 196, p. 1-14, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.10.015>.
- LIU, H.; HUANG, G. Laboratory experiment on drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent. **Agricultural Water Management**, v. 96, n. 5, p. 745-756, 2009.
- MACAN, N. P. F.; GOMES, T. M.; ROSSI, F.; TOMMASO, G. Desempenho da irrigação por gotejamento com o uso de efluente de laticínio tratado por processo biológico. **Irriga**, v. 22, n. 3, p. 575-590, 2017. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2017v22n3p575-590>.
- MALEKSAEIDI, H.; RANJBAR, S.; ESKANDARI, F.; JALALI, M.; KESHAVARZ, M. Vegetable farmers' knowledge, attitude and drivers regarding untreated wastewater irrigation in developing countries: A case study in Iran. **Journal of Cleaner Production**, v. 202, p. 863-870, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.208>.
- MAROUELLI, W. Irrigação no cultivo de Brássicas. August, 2017.
- MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan, Utah 84321, USA: Utah State University, 1978.
- MIRANDA, E. P.; OLIVEIRA, E. V.; SILVA, J. L. B.; SILVA, M. G.; LAVOR, J. M. P.; GOMES, F. E. F. Eficiência de filtragem utilizando dois filtros artesanais de tela. **IRRIGA**, v. 1, n. 1, p. 133-144, 2012.
- NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Water quality in drip/trickle irrigation: a review. **Irrigation Science**, v. 12, p. 187-192, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00190522>.
- REZNIK, A.; FEINERMAN, E.; FINKELSHTAIN, I.; FISHER, F.; HUBER-LEE, A.; JOYCE, B.; KAN, I. Economic implications of agricultural reuse of treated wastewater in Israel: A statewide long-term perspective. **Ecological Economics**, v. 135, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.01.013>.
- SALGOT, M.; FOLCH, M.; UNIT, S. S. Wastewater treatment and water reuse. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 2, p. 64-74, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.03.005>.
- SHAKIR, E.; ZAHRAW, Z.; AL-OBAIDY, A. H. M. J. Environmental and health risks associated with reuse of wastewater for irrigation. **Egyptian Journal of Petroleum**, v. 26, n. 1, p. 95-102, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.01.003>.
- SILVA, K. B.; BATISTA, R. O.; COSTA LEITE COELHO, D.; DINIZ MARQUES, B. C.; DE OLIVEIRA MESQUITA, F.; DE OLIVEIRA CUNHA, J. L. Discharge of drippers with treated sanitary sludge and the prevention of clogging with enzymatic catalyzer. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 679-699, 2019. DiDOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n2p679-699>.
- SINGH, D.; PATEL, N.; GADEDJISSO TOSSOU, A.; PATRA, S.; SINGH, N.; SINGH, P. K. Incidence of escherichia coli in vegetable crops and soil profile drip irrigated with primarily treated municipal wastewater in a semi arid peri urban area. **Agriculture (Switzerland)**, v. 10, n. 7, p. 1-17, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10070291>.

- SOLÉ-TORRES, C.; PUIG-BARGUÉS, J.; DURAN-ROS, M.; ARBAT, G.; PUJOL, J.; CARTAGENA, F. R. De. Effect of different sand filter underdrain designs on emitter clogging using reclaimed effluents. **Agricultural Water Management**, v. 223, n. February, p. 105683, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105683>.
- TONETTI, A. L.; CORAUCCI FILHO, B.; STEFANUTTI, R.; FIGUEIREDO, R. F. O emprego do filtro de areia no pós-tratamento de efluente de filtro anaeróbio. **Sanare. Revista Técnica da Sanepar, Curitiba**, v. 21, n. 21, p. 42-52, 2004. Disponível em: <http://www.sanepar.com.br/sanepar/sanare/v21/art04.pdf>.
- URBANO, V. R.; MENDONÇA, T. G.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. **Agricultural Water Management**, v. 181, p. 108-115, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.12.001>.
- US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for Water Reuse Development**. [S. l.: s. n.]. DOI: <https://doi.org/EPA16251R-921004>.
- VALE, H. S. M.; COSTA, D. D. O.; BATISTA, R. O.; COELHO, D. D. C. L.; FEITOSA, A. P. Hydraulic performance of drippers applying sanitary landfill leachate diluted in water. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 4, p. 987-996, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252018V31N422RC>.
- VALE, H. S. M.; COSTA, D. O.; BATISTA, R. O.; DE OLIVEIRA, F. de A.; DE MEDEIROS, J. F.; COELHO, D. da C. L. Distribution uniformity in drip units applying dilutions of treated water produced by oil exploration. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 6, p. 394-401, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n6p394-401>.
- VENTURA, K. M.; BISPO, R. D. C.; SANTOS, R. D. D. S.; DE SOUZA, M. H. C.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M. Análise da uniformidade de aplicação em diferentes sistemas de cultivo com irrigação localizada. **Irriga**, v. 1, n. 1 Special Issue IRRIGA and INOVAGRI, p. 57-63, 2017. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2017v1n1p57-63>.
- VERGINE, P.; LONIGRO, A.; SALERNO, C.; RUBINO, P.; BERARDI, G.; POLLICE, A. Nutrient recovery and crop yield enhancement in irrigation with reclaimed wastewater: a case study. **Urban Water Journal**, v. 14, n. 3, p. 325-330, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2016.1141224>.
- WANG, Z.; LI, J.; LI, Y. Using reclaimed water for agricultural and landscape irrigation in China: a review. **Irrigation and drainage**, v. 66, n. 5, p. 672-686, 2017.
- ZHOU, B.; LI, Y.; SONG, P.; ZHOU, Y.; YU, Y.; BRALTS, V. Anti - clogging evaluation for drip irrigation emitters using reclaimed water. **Irrigation Science**, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00271-016-0530-8>.