

IRRIGAÇÃO DE GRAMADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA APLICADA POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL

DELVIO SANDRI¹; MARCO ANTONIO ALMEIDA DE SOUZA²; WALTER JOSE DE ALMEIDA FILHO² E AMIR MIGUEL DE SOUZA FILHO²

¹Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária/UnB. Campus Universitário “Darcy Ribeiro”, Asa Norte, Instituto Central de Ciências, Ala Sul, Caixa Postal 4.508, 70910-970 – Brasília, DF, Brasil, sandri@unb.br

²Faculdade de Tecnologia/Departamento de Engenharia Civil e Ambiental/UnB. Campus Universitário “Darcy Ribeiro”, Asa Norte, Caixa Postal 4.508, 70910-970 – Brasília, DF, Brasil, maasouza@unb.br; amirr@terra.com.br; atilho@hotmail.com.

1 RESUMO

A utilização de água residuária para irrigação agrícola e de áreas paisagísticas em regiões onde há escassez de recursos hídricos é uma prática viável do ponto de vista técnico e ambiental, sendo o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial o indicado para aplicação desta água. Dessa forma, desenvolveu-se no período de abril a outubro de 2008, um experimento na Estação de Tratamento de Esgotos de Brasília – Asa Norte - ETEB-Norte, Distrito Federal, para avaliar o efeito do uso do efluente sanitário com tratamento secundário no desempenho dos modelos de emissores Typhoon, Tiram e DripNet PC, instalados nas profundidades de 6 cm, 12 cm, 18 cm e 24 cm na irrigação de área com grama batatais, bem como avaliar o comportamento do filtro de disco de 125 microns e do uso de hipoclorito de sódio aplicado a cada 6 h de uso do sistema de irrigação. Os coeficientes de uniformidade avaliados após 180 horas de uso são inaceitáveis ou ruins para os três modelos de emissores e quatro profundidades de instalação. A profundidade de instalação das linhas laterais interferiu nos coeficientes de uniformidade e no entupimento dos emissores. O uso de filtro de disco e de hipoclorito de sódio não controlou eficientemente a obstrução dos emissores. Para reduzir a obstrução dos emissores é recomendável armazenar a água residuária antes da aplicação na irrigação para remoção de sólidos, usar tratamento químico e físico com o uso de filtro de areia e de disco.

Palavras-chave: paisagismo, reúso de água, efluente, entupimento de emissores

**SANDRI, D.; SOUZA, M. A. A.; FILHO, W. A.; FILHO, A. M. S.
APPLICATION OF WASTEWATER IN GRASS BY SUBSURFACE DRIP
IRRIGATION SYSTEM**

2 ABSTRACT

The use of treated wastewater for agricultural and landscape irrigation in regions where water resources are scarce is technically and environmentally viable, being the subsurface drip irrigation system the most suitable. Thus, an experiment was carried out from April to October, 2008 at the North Brasilia Sewage Treatment Plant – ETEB-North, Federal District – Brazil, to evaluate the effect of using sanitary effluent, from secondary treatment, on the performance of the Typhoon, Tiram and DripNet PC emitter models, installed at 6 cm, 12 cm,

18 cm and 25 cm deep to irrigate Bahia grass. The performance of the 125 micron filter disc and the use of sodium hypochlorite applied at every 6 hours of irrigation usage were also assessed. The uniformity coefficients evaluated after 180 hours of use were considered unacceptable or poor for the three models of emitters and the four installation depths. The installation depth of the lateral lines affected the uniformity coefficients and clogging of the emitters. The use of the disc filter and sodium hypochlorite was not efficient to control clogging of the emitters. To reduce clogging of emitters, it is advisable to store wastewater before application in the irrigation to remove solids, and use chemical and physical treatment such as sand and filter disc.

Keywords: landscape, water reuse, effluent, wastewater treatment, clogging of emitters.

3 INTRODUÇÃO

A demanda por recursos hídricos especialmente para a indústria, agricultura e abastecimento urbano, aumentou significativamente nos últimos anos. Assim, o uso de fontes alternativas de água de menor qualidade, torna-se cada vez mais importante, tanto do ponto de vista científico, como para seus gestores, para adequar à irrigação de culturas agrícolas e de áreas paisagísticas, como para outros usos. Os benefícios inerentes à reutilização de efluentes de esgotos tratados para diversos usos incluem a preservação de águas superficiais e subterrâneas, proteção ambiental e benefícios econômicos e sociais.

O reúso de água residuária deve ser ancorado no conceito de “substituição de fontes”, que, de acordo com SOUZA et al. (2006), libera águas de melhor qualidade para usos mais nobres. Acredita-se que, num futuro não muito distante, a água de reúso talvez seja a única fonte para o atendimento aos diversos setores, dentre eles, o agrícola e industrial, em muitas regiões brasileiras. É um dos poucos métodos capazes de aumentar o suprimento de água após o esgotamento de fontes naturais deste recurso. Embora o reúso seja uma prática antiga em alguns países (RAMIREZ-FUENTES et al., 2002, TAYLOR et al., 2006), no Brasil, por ocasião da promulgação da Lei 9.433, de 1997, que instituiu a política nacional de recursos hídricos, há incentivos pela prática do reúso. Desta forma, considera-se que no Brasil o reúso é uma prática recente, necessitando estudos científicos, para adequar a realidade do Brasil em termos técnicos, econômicos, sociais, ambientais e de saúde pública, em virtude da grande necessidade de água para diversos usos, como para manutenção de áreas verdes pertencentes aos setores públicos e privados, que cresceu nos últimos anos, devido à maior valorização estética de áreas verdes.

Na região do Cerrado, grande produtora agrícola com larga utilização dos recursos hídricos na irrigação, têm-se observado, por ocasião de estiagens sazonais, conflitos pelo uso da água para o abastecimento público, ocorrendo tanto em importantes pólos urbanos, como Distrito Federal e nas cidades de Goiânia, Anápolis e Palmas, como em cidades de menor porte. Brasília se encontra numa região de estresse hídrico, justificando a prática do reúso de água (GEO BRASIL, 2007). Grande parte da água utilizada em Brasília para uso industrial e urbano, por exemplo, é importada de regiões do entorno, onde se observa que a água nos seus limites é insuficiente para suprir os diferentes setores de usuários, com uma disponibilidade de água por habitante que só é maior do que Pernambuco e Paraíba. Segundo Christofidis (2006), a disponibilidade *per capita* de água no Distrito Federal é de 1.200 km³ hab⁻¹.ano, muito inferior à região Centro-Oeste, que é de 31.125 km³.hab.⁻¹.ano⁻¹.

A irrigação pode economizar significativo volume de água, pela elevação da eficiência de irrigação e pela prática do reúso, reduzindo a captação de águas naturais. A avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento superficial e subsuperficial foi estudada por vários pesquisadores, como VALE et al. (2013), FARIA et al. (2007), BATISTA et al. (2006), CAPRA & SCICOLONE (1998), RAVINA et al. (1997), e FERGUSON (1994), tendo-se observado que um dos principais problemas é a obstrução dos emissores e a influência na uniformidade de distribuição de água, que está relacionada a vários fatores, especialmente a qualidade da água, geometria dos orifícios, sistema de filtragem e sensibilidade do emissor à temperatura e variações de pressão.

Conforme relata Faria et al. (2002), a redução da vazão dos emissores provoca redução da velocidade da água na tubulação, reduzindo as perdas de carga por atrito, alterando também, o ponto de funcionamento do sistema moto-bomba, fato este que incrementa a pressão de saída na bomba.

Interiormente ao tubo ocorre a formação de lodo bacteriano e sedimentos (Yan et al., 2010), e intrusão de raízes e sucção de solo, embora pouco se conheça sobre estes efeitos. A aplicação de água residuária via sistema de irrigação por gotejamento acarreta problemas de obstrução dos gotejadores, com alteração da uniformidade de aplicação de água e redução da vazão dos emissores (VALE et al., 2013; BATISTA et al., 2006; SOUZA et al., 2006), fato que pode ser minimizado pela aplicação de produtos químicos específicos na água, como ácido clorídrico ou outro produto para controle de microorganismos, e trifuralina para controle da intrusão de raízes nos emissores (YINGDUOA et al., 2010; COELHO et al., 2007).

A opção pelo uso de água residuária tratada na irrigação de áreas paisagísticas deve-se a fatores como o custo elevado para transportar o efluente para áreas agrícolas e geração contínua de efluente durante todo o ano (FERGUSON, 1994). Os principais problemas na utilização de efluente para a irrigação de parques e campos desportivos é o potencial de riscos à saúde pública, que podem transmitir doenças (SIDHU et al., 2008), porém, usando irrigação subsuperficial este risco é reduzido.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de filtro de disco, de hipoclorito de sódio e o desempenho de três modelos de emissores instalados em quatro profundidades na irrigação por gotejamento subsuperficial de área com gramado, utilizando água residuária de origem doméstica com tratamento secundário.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma área com grama-batatais (*Paspalum notatum* Flügge) existente na Estação de Tratamento de Esgotos de Brasília, ETEB – Norte, Brasília – DF, no período de abril a outubro de 2008.

Utilizou-se água residuária oriunda da ETEB-Norte, projetada para tratar os esgotos de 251.000 habitantes pelo processo biológico de remoção de nutrientes conhecido como “Bardenpho Modificado”, “Bardenpho de cinco estágios” ou “Phoredox”, seguido de polimento final pelo processo físico-químico, constituído de coagulação, floculação e flotação. No tratamento secundário avançado, utilizam-se reatores biológicos que realizam a nitrificação e a desnitrificação biológica.

A captação do efluente para uso na irrigação foi realizado após o processo biológico de tratamento e antes do processo físico-químico. As amostras de efluentes para análises físicas foram coletadas antes e após a passagem por um filtro de disco de 125 microns para

analisar a eficiência de remoção dos sólidos. A coleta de amostras de efluente para as análises físicas e químicas foram realizadas após a passagem pelo filtro de disco, 10 minutos do acionamento do sistema de bombeamento, nas datas de 13/5, 2/6, 24/6, 2/7, 29/7 e 18/08/2008, determinando-se os sólidos em suspensão, sólidos totais, sólidos dissolvidos, pH, fósforo total, demanda bioquímica de oxigênio, alcalinidade, dureza, ferro total e turbidez, determinadas segundo APHA (1995).

Instalou-se no cabeçal de controle de irrigação um regulador de pressão a 100 kPa (pressão de operação utilizada do sistema de irrigação), um hidrômetro, um injetor Venturi de 3/4" e um filtro de disco de 125 microns (Figura 1), sendo este removido para limpeza sempre que a pressão a jusante do mesmo fosse igual a 60 kPa. Na entrada das parcelas instalaram-se válvulas de gaveta para controle da passagem de efluente em cada um dos modelos de gotejadores avaliados, válvulas de remoção de ar e tomadas de pressão para uso de manômetro tipo Bourdon com agulha para aferição da pressão.

Foram avaliados os modelos de emissores Tiran, Typhoon e DripNet PC, com características conforme Tabela 1.

Tabela 1. Características dos emissores utilizados para a aplicação da água residuária na irrigação do gramado.

Modelo emissor	de EP (mm)	DI (mm)	DE (mm)	Dimensões de passagem da água (mm)			Vazão na pressão nominal (L h ⁻¹)
				L	P	C	
Tiran	1,20	14,6	17,00	0,76	0,85	75	1,60
Typhoon	0,50	15,6	16,60	0,79	0,60	23	1,75
DripNet PC	0,38	15,7	16,46	0,76	0,73	8	1,60

Fonte: catálogo do fabricante. EP = Espessura da parede; DI = Diâmetro interno; DE = Diâmetro externo. L: Largura, P: Profundidade, C: Comprimento.

Utilizaram-se três repetições, sendo cada uma constituída de duas linhas laterais para cada modelo de emissor e profundidades de instalação, sendo estas de 6 cm (P1), 12 cm (P2), 18 cm (P3) e 24 cm (P4). As linhas laterais de gotejadores possuíam 6,40 m de comprimento e emissores espaçados de 0,40 m (Figura 1). Como porta lateral utilizaram-se mangueiras de polietileno de 3/4.

As linhas laterais foram instaladas com os emissores dispostos para cima, para minimizar o efeito da deposição de sólidos na base da tubulação lateral que pudesse acelerar o processo de obstrução. A extremidade das linhas laterais de um mesmo modelo de emissor foi ligada por uma tubulação, e sobre estas se instalaram válvulas de alívio, reduzindo a quantidade de peças necessárias (Figura 1).

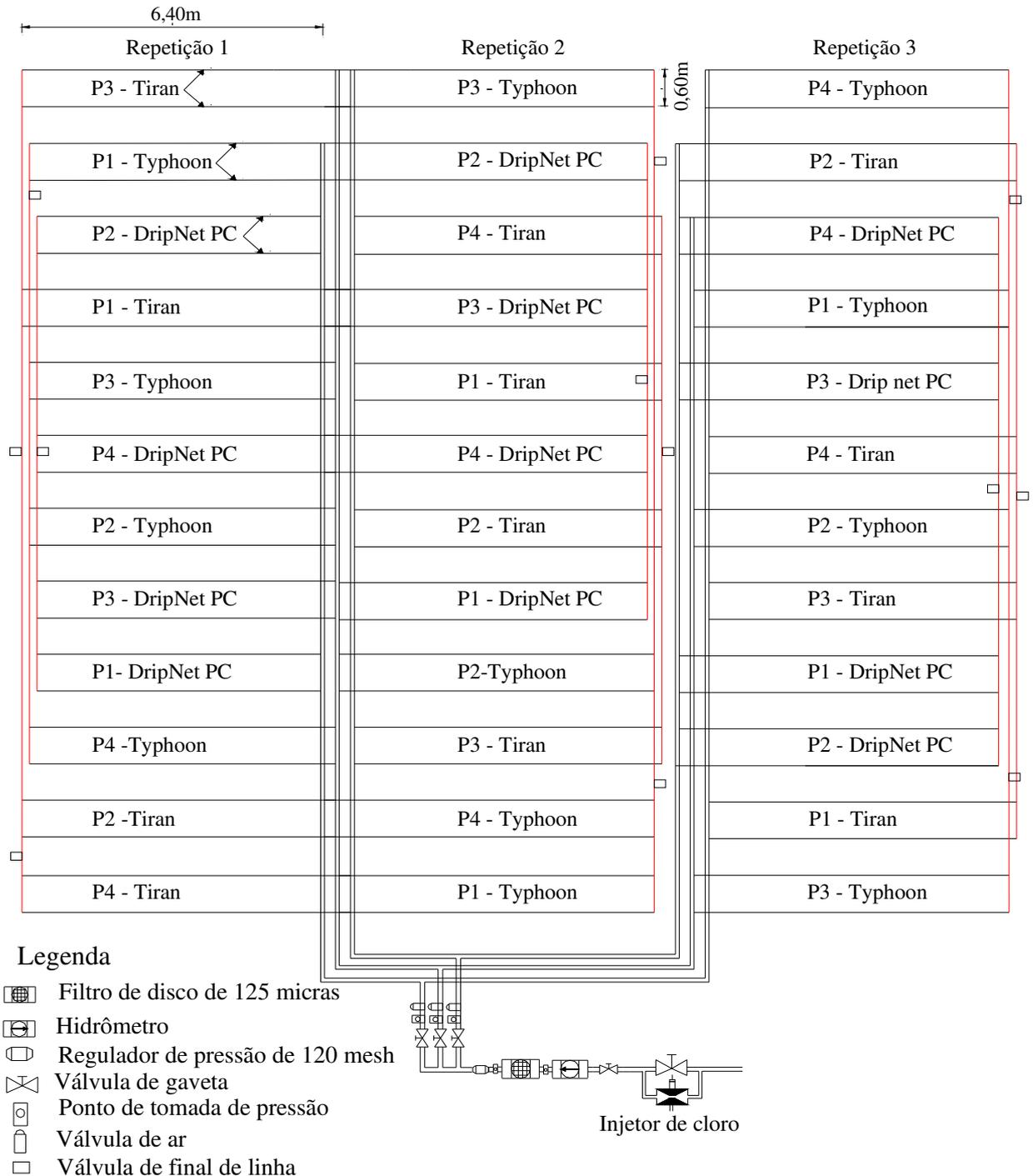


Figura 1. Distribuição dos tratamentos e equipamentos utilizados na irrigação de gramada para as profundidades de instalação das linhas laterais de gotejadores de 6 cm (P1), 12 cm (P2), 18 cm (P3) e 24 cm (P4).

Para auxiliar no controle da obstrução dos emissores, injetou-se hipoclorito de sódio na concentração de 12%, a cada 6 dias na dosagem de 12 mg L^{-1} , num período de 40 minutos finais da irrigação (o que permite maior tempo de contato do produto, melhorando o controle de crescimento microbiano), segundo recomendação de ENGLISH (1985).

O turno de rega foi de três dias, sendo a lâmina de irrigação definida a partir de dados obtidos em uma estação agrometeorológica instalada em Brasília, distante cerca de 5 km. Para obtenção da evapotranspiração de referência (ET_o), utilizou-se a equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), já a evapotranspiração da cultura (ET_c) foi obtida multiplicando-se a ET_o por um coeficiente de cultura (K_c) igual a 1, uma vez que se tratava irrigando gramado. Considerou-se que o solo estava totalmente coberto, sem deficiência hídrica, em bom estado fisiológico e com altura do gramado de cerca de 10 cm, condições que são tomadas como referência para obtenção da ET_o pela Equação de Penman-Monteith. Desta forma, a lâmina total de irrigação foi de 364 mm durante o experimento.

A determinação do coeficiente de variação de fabricação (CV_f) e da equação que relaciona a pressão e vazão seguiu a norma ASAE (1994). Os valores foram obtidos em ensaios de laboratório, utilizando as pressões de 50, 100, 150, 200, 250, 300 e 350 kPa para o modelo de emissor Tiran e 50, 100, 150, 200 e 250 kPa, para os modelos Typhoon e DripNet PC.

A avaliação do sistema de irrigação em campo foi realizada após a instalação do equipamento e aos 180 dias do início da irrigação com água residuária. Utilizou-se o método volumétrico com provetas com precisão de um mm e tempo de coleta de três minutos. Foram avaliadas três linhas laterais para cada modelo de emissor e profundidade de instalação, medindo-se a vazão de oito emissores dentre os dezesseis existentes em cada linha lateral, sendo estes localizados a 2/16, 4/16, 6/16, 8/16, 10/16, 12/16, 14/16 e o último emissor. Seguiu-se a metodologia de avaliação de gotejadores proposta por MERRIAM & KELLER (1978) e modificada por DENÍCULI et al. (1980), que recomenda que se avaliem gotejadores em oito posições em cada linha lateral e em quatro linhas laterais, sendo a primeira linha lateral, a situada a 1/3 da origem, a situada a 2/3 e a última linha. No entanto, como o número de laterais em cada modelo de emissor era pequeno, optou-se por avaliar apenas três linhas laterais por modelo de emissor.

A uniformidade de distribuição estatística (U_s) (BRASTS, 1981), foi estimada pela Equação 1.

$$U_s = 100(1 - CV_q) \quad (1)$$

em que: U_s é a uniformidade de distribuição estatística (%), CV_q é o coeficiente de variação da vazão do emissor em campo (L h⁻¹).

A uniformidade de emissão (E_u) foi obtida pela relação entre a média dos 25% menores valores de vazão e a média de todas as vazões observadas. Já o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), foi obtido conforme CHRISTIANSEN (1942) e classificado conforme MANTOVANI (2002). O índice da relação das vazões médias dos gotejadores (D_{ra}), desenvolvido por CAPRA & SCICOLONE (1998), foi estimado pela Equação 2.

$$D_{ra} = 100(\sum q_f/q_c)/n \quad (2)$$

em que: D_{ra} é índice da relação das vazões médias dos gotejadores (%), n é o número de gotejadores ensaiados, q_f é a vazão dos gotejadores avaliados em campo (L h⁻¹) e q_c é a vazão calculada por meio da equação pressão x vazão determinada em laboratório, na pressão em que os gotejadores foram avaliados em campo (L h⁻¹).

O coeficiente de variação de desempenho no campo (Vpf) foi obtido pela Equação 3, descrita por CAPRA & SCICOLONE (1998), não sendo necessário ser calculado quando $x^2Vh^2 > Vq^2$.

$$Vpf = 100(CVq^2 - x^2Vh^2)^{1/2} \quad (3)$$

em que: Vpf é o coeficiente de variação de vazão do emissor a pressão constante (%), Vh é o coeficiente de variação de pressão no cabeçal de controle (m.c.a.) e x é o expoente de vazão do emissor (adimensional).

Os índices de desempenho obtidos nos emissores podem ser classificados de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2. Classificação dos índices de uniformidade dos emissores.

Índice de Uniformidade	Classificação em %		
	Baixa	Média	Alta
Us	< 71	71 - 89	> 89
Eu	< 66	66 - 84	> 84
Dra	< 61	61 - 79	> 79
Vpf	> 29	11 - 29	< 11

Fonte: Adaptado de Capra & Scicolone (1998).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observam-se na Tabela 3, os valores médios da qualidade da água residuária durante o período de realização do experimento, sendo as concentrações menores que de 50 mg L⁻¹ de sólidos suspensos e de 500 mg L⁻¹ de sólidos dissolvidos, considerados de risco reduzido quanto ao potencial de entupimento dos emissores (NAKAYAMA & BUCKS, 1986). Para Ayres & Westcot (1991), os valores de sólidos dissolvidos obtidos são consideradas de baixíssimo risco de entupimento, uma vez que não chegaram à concentração de 500 mg L⁻¹.

Tabela 3. Valores médios da qualidade da água residuária durante o período de realização do experimento.

Parâmetros	Média (mg L ⁻¹)	Desvio padrão (mg L ⁻¹)	Coeficiente de variação (%)
Sólidos em suspensão	19,73	17,08	15,15
Sólidos dissolvidos	212,55	205,90	196,50
Sólidos totais	234,27	225,30	214,97
DBO	28,92	28,75	29,83
Alcalinidade total	59,17	58,53	57,28
Dureza total	6,33	4,39	5,12
Ferro total	0,43	0,45	0,47
Turbidez (NTU)	13,07	13,03	14,06
CE (dS m ⁻¹)	0,33	0,33	0,33
pH (adimensional)	6,52	6,49	6,49

CE: Condutividade Elétrica. DBO: Demanda Bioquímica de oxigênio; Média de seis análises.

A DBO, embora não seja comumente utilizada para estudar potencial de entupimento de emissores, pode auxiliar no entendimento do problema, pois valores maiores significam

maior quantidade de material orgânico na água, o que possivelmente resultará também, em maior presença de microorganismos, e ao mesmo tempo, sugere a necessidade de tratamento complementar.

A dureza máxima obtida de 18 mg L^{-1} foi considerada baixa, não apresentando nenhum risco de obstrução dos emissores, pois, para NAKAYAMA & BUCKS (1986), a dureza somente passa a apresentar problema acima de 150 mg L^{-1} de CaCO_3 .

A concentração média de ferro total na água residuária foi de $0,43 \text{ mg L}^{-1}$, o que, para NAKAYAMA & BUCKS (1986), apresenta médio risco de entupimento dos emissores. Com relação à condutividade elétrica, quanto maiores seus valores, melhores são as condições para a proliferação de microorganismos, por proporcionarem substrato para seu crescimento, acelerando o processo de obstrução. O pH na água residuária apresentou valor adequado para irrigação em geral (BRASIL, 2005), que deve estar entre 6,0 e 9,0, apresentando risco reduzido quanto ao potencial de entupimento de emissores pela água de irrigação (NAKAYAMA & BUCKS, 1986).

Para analisar o sistema de irrigação quando novo determinou-se a equação vazão x pressão, sendo que para o tubo gotejador Tiram foi $q = 0,1744H^{0,4308}$ ($R^2 = 0,9993$), para o modelo Typhoon foi $q = 0,2355H^{0,4344}$ ($R^2 = 0,9977$), caracterizados como regime de escoamento turbulento; já para o tubo gotejador DripNet PC foi obtida a equação $q = 1,7811H^{-0,0123}$ ($R^2 = 0,5342$), o que caracteriza este gotejador como autocompensante, porém, não perfeito. O tubo gotejador Tiran apresentou CVf médio de 0,98%, já o tubo gotejador Typhoon apresentou CVf médio de 2,78%, sendo os dois classificados como excelentes de acordo com a ASAE (1994). Esses índices são considerados baixos, característica importante que auxiliará na elevação dos índices de uniformidade de distribuição de água, porém, é necessário que sejam tomados os devidos cuidados para evitar a obstrução dos emissores, especialmente os relacionados a qualidade da água de irrigação e sistema de filtragem.

A Tabela 4 apresenta os valores de CUC e de Eu obtidos em campo para os diferentes modelos de emissores antes do início da aplicação de água residuária.

Tabela 4. Vazão média, desvio padrão, coeficiente de uniformidade de Christiansen e uniformidade de emissão obtidos em campo antes do início da aplicação de água residuária para os modelos de tubos gotejadores Typhoon, Tiran, DripNet PC.

Modelo de emissor	Vazão (L h^{-1})	Desvio Padrão (L h^{-1})	CUC	Eu
Typhoon	1,71	3,77	98,37	97,34
Tiran	1,25	1,46	99,19	98,99
DripNet PC	1,69	6,68	96,63	95,12

Os valores de CUC médio para os três modelos de emissores avaliados foram classificados como excelentes segundo MANTOVANI (2002) e ASAE (1994).

Após 180 horas de uso, os valores de CUC para diferentes modelos e profundidade de instalação dos emissores (Tabela 5) foram considerados inaceitáveis ($< 60\%$) (Mantovani, 2002) para as profundidades de instalação de 6 cm, 12 cm e 18 cm para o modelo de emissor Typhoon, e nas profundidades de 6 cm, 18 cm e 24 cm para o modelo Tiram, enquanto que o emissor de modelo DripNet PC mostrou valores inferiores de CUC ($< 60\%$) somente na profundidade de instalação de 6 cm. Já para a profundidade de 24 cm para o modelo Typhoon, 12 cm para o Tiram e para as profundidades de 12 cm, 18 cm e 24 cm para o modelo DripNet PC foi considerado ruim (60 a 70%) (MANTOVANI, 2002). Para os três modelos de emissores, a profundidade de instalação de 6 cm foi a que apresentou menores valores de

CUC. Nestes tubos emissores, observou-se, embora não foi quantificada, maior presença de material orgânico e que, pelas características da água residuária, possivelmente também havia sólidos inertes e aderidos às paredes internas do tubo gotejador. A presença deste biofilme favorece a proliferação de microorganismos em função das melhores condições para seu desenvolvimento - temperaturas mais elevadas - por estarem mais próximos da superfície do solo, acelerando o processo de obstrução dos emissores.

De maneira geral, os emissores Typhoon e Tiran apresentaram valores de CUC semelhantes, mas menores que o modelo DripNet PC em todas as profundidades de instalação dos emissores, o que era esperado.

Tabela 5. Valores obtidos de CUC, Eu, Dra, CVq, desvio padrão e vazão média para os diferentes modelos de tubos gotejadores e profundidade de instalação.

Coeficientes (%)	Typhoon				Tiran				DripNet PC			
	Profundidades (cm)				Profundidades (cm)				Profundidades (cm)			
	6	12	18	24	6	12	18	24	6	12	18	24
CUC	46,50	56,29	48,07	62,83	45,59	62,11	47,93	56,39	50,93	63,64	63,67	64,20
Eu	31,74	50,36	43,97	61,43	30,14	59,84	35,24	50,68	34,20	60,65	51,28	62,72
Us	41,20	50,78	45,84	62,03	38,10	60,97	43,70	51,43	39,83	61,10	62,72	63,16
Dra	57,69	64,40	59,39	66,25	54,72	64,84	58,19	63,62	45,31	60,93	57,16	56,45
Vpf	-	-	-	-	-	-	-	-	26,79	5,50	3,84	3,40
CVq (Lh ⁻¹)	22,78	20,12	33,76	14,62	41,90	8,87	23,48	33,91	21,32	6,36	6,79	5,06
DPad (Lh ⁻¹)	0,36	0,34	0,53	0,25	0,44	0,11	0,27	0,39	0,29	0,11	0,11	0,08
Vazão (Lh ⁻¹)	1,56	1,69	1,57	1,70	1,05	1,24	1,15	1,15	1,36	1,73	1,62	1,58
Redução (%)	9,62	1,18	8,92	0,00	19,05	0,81	8,70	8,70	24,26	0,00	4,32	6,96

Desvio padrão – DPad; A redução corresponde a diminuição da vazão entre o início e final do experimento.

A uniformidade de emissão (Eu) é considerada baixa, segundo CAPRA & SCICOLONE (1998), para os três modelos de emissores e em todas as profundidades de instalação dos emissores, pois foi sempre inferior a 66%. A captação do efluente para uso na irrigação diretamente de um canal localizado após o processo biológico de tratamento, e antes do processo de tratamento físico-químico, dificultou a ação da filtração com filtro de disco e a ação eficiente do sistema de cloração, influenciando, portanto, na redução dos índices de uniformidade de distribuição de água. Os valores de Eu são inferiores aos obtidos por SANDRI et al. (2003), ao aplicarem água residuária tratada com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com macrófitas e armazenada em reservatório antes da utilização na irrigação, durante dois ciclos da cultura da alface, tanto utilizando o gotejamento superficial como o subsuperficial, resultados que podem ser atribuídos, em parte, ao menor tempo total de funcionamento e a maior eficiência do sistema de filtração, que era composto de filtro de areia seguido de filtro de tela de 125 microns. BATISTA et al. (2006) também observaram redução elevada de CUC e Eu ao analisarem a suscetibilidade ao entupimento de três modelos de gotejadores, para aplicação de esgoto sanitário tratado, após 560 h de funcionamento. Já Choi & Suez Rey (2004) observaram que a uniformidade estatística dos emissores foi reduzida de 91,8% (emissores novos) para 85,3% após o primeiro ano e 86,2% após o terceiro ano na irrigação de gramado bermuda com água residuária com tratamento secundário aplicada por gotejamento subsuperficial.

Os valores de Dra são considerados baixos segundo CAPRA & SCICOLONE (1998) nas profundidades de 6 cm e 18 cm, para os modelos Typhoon e Tiran e em todas as profundidades para o modelo DripNet PC, já nas demais profundidades nos três modelos, o

Dra foi considerado médio (61 a 79%). De acordo com o autor acima, o Dra inclui fatores como o coeficiente de variação de vazão dos emissores em campo e pode ser usado para comparar a elevação do entupimento, se comparada com o coeficiente de variação de fabricação, que fornece uma medida estatística da variação a ser esperada pela não ocorrência do entupimento.

A exemplo do CUC, as linhas laterais instaladas a 6 cm de profundidade foram as que apresentaram maior redução de vazão para os três modelos de emissores avaliados, chegando a 19,05% para o modelo Typhoon e 24,26% para o DripNet PC, sendo essa redução influenciada pelo maior número de emissores completamente obstruídos. Esta redução foi maior do que a observada por SANDRI et al. (2003), que registraram valores de 8,1% com gotejamento subsuperficial e 5,9% o gotejamento superficial na aplicação de água residuária com tratamento secundário, sendo que a redução da vazão, quando não controlada, tende a aumentar a pressão do sistema de irrigação (Faria et al., 2002). Já Choi & Suaezy Rey (2004) não observaram emissores completamente obstruídos e o entupimento de emissores não foi grave o suficiente para afetar a qualidade visual do gramado. Ao contrário, nesse trabalho, observou-se início de secamento do gramado em pontos localizados, especialmente nos tratamentos com profundidade de instalação das laterais a 24 cm.

Os coeficientes de uniformidade avaliados foram considerados inadequados para a irrigação localizada, possivelmente influenciados pela baixa eficiência do sistema de filtração, que necessitou ser removido para limpeza com muita frequência e ao uso do hipoclorito de sódio, que pode não ter surtido o efeito desejado. Para reduzir a obstrução dos emissores, o sistema de filtragem deve ser apropriado às características do emissor e a qualidade da água utilizada na irrigação. Assim, observou-se que o filtro de disco utilizado no experimento apresentou obstrução variável entre os dias de irrigação, principalmente devido à oscilação da qualidade da água residuária, exigindo limpeza com frequência média de 60 minutos, considerado tempo muito pequeno, pois, além de demandar muita mão-de-obra, pode favorecer a passagem de impurezas para o interior do sistema de irrigação no processo de montagem e desmontagem, o que acelera o processo de obstrução dos emissores.

Batista et al. (2006) avaliaram a aplicação de efluente sanitário de lagoa de maturação, observando, a exemplo deste trabalho, grande potencial de obstrução de gotejadores, onde somente a filtração com filtro de disco de 125 microns não preveniu a obstrução de gotejadores. Uma alternativa adicional de redução da obstrução pode ser o uso de automação dos filtros (RIBEIRO et al., 2005), esclarecendo que se consegue melhor controle do número de retrolavagens, eficiência do sistema de filtração e praticidade na sua limpeza. Alternativa adicional é o uso de filtro de areia (PALACIOS et al., 2008), que ao irrigarem alfafa (*Medicago sativa*) e híbrido de capim Sudão (*Sorghum sudanense bicolor ssp*), com efluente tratado aplicado por gotejamento subsuperficial, limpam o mesmo permanentemente e os tubos gotejadores cada 6 meses.

Recomenda-se que o controle da obstrução de emissores em irrigação por gotejamento - especialmente o subsuperficial - seja realizado de forma preventiva, incluindo o armazenamento da água residuária antes da aplicação na irrigação, para permitir decantação de sólidos, o uso de tratamento químico como a cloração e físico como o uso de filtros de areia. Isso porque, em muitas situações não há garantia de que será possível a desobstrução completa ou mesmo parcial, já que é dependente do material causador da obstrução - físico químico e biológico - implicando em índices de uniformidade de distribuição de água inferiores aos valores aceitáveis para este sistema de irrigação.

6 CONCLUSÕES

Os coeficientes de uniformidade (CUC, Eu, Us e Dra) após 180 horas de uso foram considerados inaceitáveis ou ruins para os tubos gotejadores Typhoon, Tiran, DripNet PC nas profundidades de instalação de 6 cm, 12 cm, 18 cm e 24 cm.

A profundidade de instalação das linhas laterais interferiu nos coeficientes de uniformidade e na obstrução dos emissores, sendo mais acentuados nas instaladas a 6 cm de profundidade para os três modelos de tubos gotejadores avaliados.

O uso de um filtro de disco e de cloração aplicada a cada 6 horas de uso do sistema de irrigação não são eficientes no controle da obstrução dos emissores, assim, sugere-se realizar a remoção de compostos presentes na água por meio do armazenamento em depósito antes da aplicação na irrigação, usar filtro de areia associado a filtros de disco e aplicação de produtos químicos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., AND SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. **Irrigation and Drainage Paper n. 56**, FAO, Rome, Italy. 1998.

APHA; AWWA & WPCF. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 19^a ed, Washington D.C./USA, American Public Health Association, 1995.

ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Design and installation of microirrigation system**. ASAE EP405.1. St. Joseph Michigan, p.724-727, 1994.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. Estudos da FAO: Irrigação e Drenagem, 29 Revisado 1.

BATISTA, R. O.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E. C. M.; EUCLIDES, R. M. A. Suscetibilidade ao entupimento de gotejadores mediante a aplicação de esgoto sanitário tratado. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.14, n.2, p.81-87, Abr./Jun, 2006.

BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (2005). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Ministério do Meio Ambiente, 23p.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution Uniformity in drip/trickle irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Elsevier, v.70, n. 4, p.355-365. 1998.

CHOI, C. Y. E.; SUAREZ REY, M. Subsurface drip irrigation for bermudagrass with reclaimed water. **Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**. St. Joseph, v. 47, n.6, p.1943-1951. 2004.

CHRISTIANSEN, E. J. **Irrigation by sprinkler**. Berkeley, University of California, 1942.
CHRISTOFIDIS, D. Recursos hídricos dos cerrados e seu potencial de utilização na irrigação. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n.69/70, 2006. p. 87-97.

COELHO, R. D.; FARIA, L. F.; MELO, R. F. Obstrução de gotejadores autocompensantes enterrados na irrigação de citros por intrusão radicular. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 3, p. 393-408, julho-setembro, 2007.

DENÍCULLI, W.; BERNARDO, S.; THIÁBAUT, J. T. L.; SEDYAMA, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, v.27, p.155-162, 1980.

FARIA, L. F.; COELHO, R. D.; FLECHA, P. A. N.; ROBLES, W. G. R.; VASQUEZ, M. A. N. Entupimento de gotejadores e seu efeito na pressão da rede hidráulica de um sistema de microirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.6, n.2, p. 195-198. 2002.

GEO Brasil: **Recursos Hídricos: Componentes da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil**. Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional de Águas, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: MMA/ANA. 2007. 264p.

MANTOVANI, E. C. **Avalia: manual do usuário**. Viçosa: DEA/UFV–PNP&D/café Embrapa, 2002.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271p.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickles Irrigation for crop Production U. S.** Department of Agriculture, Agricultural Research Service, U.S. Water Conservation Laboratory, Phoenix, Arizona - U.S.A. p.383, 1986.

PALACIOS, M. P.; MENDOZA-GRIMÓN, V.; FERNÁNDEZ, F.; FERNANDEZ-VERA, J. R.; HERNANDEZ-MORENO, J. M. Sustainable reclaimed water management by subsurface drip irrigation system: a study case for forage production. **Water Practice & Technology**, v.3, n2, p. 1-9, 2008.

RAMIREZ-FUENTES, E.; LUCHO-CONSTANTINO, C.; ESCAMILLA-SILVA, E.; DENDOOVEN, L. Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time. **Bioresource Technology**, Elsevier, v. 85, n.2, p.179-187. 2002.

RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SCHISCHA, A.; SAGI, G.; YECHIALY, Z.; LEV, Y. Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, Elsevier, v.33, n.2-3, p.127-137, 1997.

RIBEIRO, T. A. P.; AIROLDI, R. P. S.; PATERNIANI, J.E. S.; SILVA, M. J. M. Efeito da qualidade da água na perda de carga em filtros utilizados na irrigação localizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.9, n.1, p.1-6, 2005.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Entupimento de gotejadores usando água residuária tratada com leitos cultivados com macrófitas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 257-267, 2003.

SIDHU, J. P. S. ; HANNA, J.; TOZE, S. G. Survival of enteric microorganisms on grass surfaces irrigated with treated effluent. **Journal of Water and Health**, London, v. 06, n. 2, p. 255-262. 2008.

SOUZA, J. T.; HENRIQUE, I. N.; LEITE, S. V.; LOPES, W. S. Tratamento de águas residuárias: uma proposta para a sustentabilidade ambiental. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, Campina Grande, Suplemento Especial, n.1, p.90-97, 2º Semestre. 2006.

SOUZA, J. A. A.; CORDEIRO, E. A.; COSTA, E. L. Aplicação de hipoclorito de sódio para recuperação de gotejadores entupidos em irrigação com água ferruginosa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.1, p.5–9, 2006.

TAYLOR, K. S.; ANDA, M.; STURMAN, K.; MATHEW, G. H. Subsurface dripline tubing – an experimental design for assessing the effectiveness of using dripline to apply treated wastewater for turf irrigation in Western Australia. **Desalination**, Elsevier, v. 187, p. 375 – 385, 2006.

VALE, H. S. M.; ARRUDA, L. V. A.; COSTA, D. O.; COSTA, F. G. B.; BATISTA, R. O. Potencial de entupimento de um sistema de irrigação por gotejamento operando com esgoto doméstico tratado. **Water Resources and Irrigation Management**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 63-70, 2013.

YAN, D. YANG, P.; ROWAN, M.; REN, D.; PITTS, D. Biofilm Accumulation and Structure in the Flow Path of Drip Emitters Using Reclaimed Wastewater. **Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**. St. Joseph, v.53, n.3, p.751-758. 2010.

YINGDUOA, Y.; SHIHONG, G.; DIA, X.; JIANDONG, W.; XIAOPENGA, M.; Effects of Treflan injection on winter wheat growth and root clogging of subsurface drippers. **Agricultural Water Management**, Elsevier, v. 97, p. 723-730. 2010.