

Francisco de Oliveira Mesquita<sup>1\*</sup>

Ketson Bruno da Silva<sup>2</sup>

Luiz di Souza<sup>3</sup>

Tarcísio Batista Dantas<sup>4</sup>

Rafael Oliveira Batista<sup>5</sup>

\*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 23/03/2015. **Aprovado em 06/04/2015.**

<sup>1</sup> Discente do Curso de Doutorado em Manejo de Solo e Água, UFERSA, Campus Mossoró. Av. Francisco Mota, n. 572, Presidente Costa e Silva, CEP 59625-900, Mossoró, RN. E-mail: mesquitaagro@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Discente do Curso de Doutorado em Manejo de Solo e Água, UFERSA, Campus Mossoró. Av. Francisco Mota, n. 572, Presidente Costa e Silva, CEP 59625-900, Mossoró, RN. E-mail: ketsonbruno@hotmail.com

<sup>3</sup> Prof. da UFERSA, Deptº de Ciências Ambientais e Tecnológicas, UFERSA, Campus Mossoró. Av. Francisco Mota, n. 572, Presidente Costa e Silva, CEP 59625-900, Mossoró, RN. E-mail: rafaelbatista@ufersa.edu.br

<sup>4</sup> Mestre em Ciência do Solo, UFERSA, Campus Mossoró. Av. Francisco Mota, n. 572, Presidente Costa e Silva, CEP 59625-900, Mossoró, RN. E-mail: tarcisioempam@hotmail.com

<sup>5</sup> Prof. da UERN, Deptº de Química, UERN, Campus Universitário Central. Rua Professor Antônio Campos, s/n, BR 110, km 48, Presidente Costa e Silva, CEP 59600-000, Mossoró, RN. E-mail: luizuern@bol.com.br

ACSA



AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMIÁRIDO – ISSN 1808-6845

Artigo Científico

## *Uniformidade de aplicação de percolado de aterro sanitário diluído em unidades de irrigação por gotejamento*

### RESUMO

O aumento populacional dos seres humanos demanda cada vez mais recursos naturais e, conseqüentemente, propicia a geração de grandes quantidades de resíduos. Objetivou-se, com este trabalho, analisar o efeito da aplicação de percolado de aterro sanitário diluído na uniformidade de aplicação de unidades de irrigação por gotejamento, bem como caracterizar os agentes físico-químicos e microbiológico ocasionadores de obstrução em gotejadores. O experimento foi conduzido sob delineamento inteiramente casualizado no esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os tipos de gotejadores (G1 - 1,6 L h<sup>-1</sup>; G2 - 2,0 L h<sup>-1</sup>, G3 - 4,0 L h<sup>-1</sup> e G4 - 8,0 L h<sup>-1</sup>) e nas subparcelas os tempos de operação (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 h), com quatro repetições. Os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de uniformidade de distribuição (CUD) e as análises físico-químicas e biológicas do percolado de aterro sanitário diluído foram determinadas, a cada 20 horas de operação das unidades de irrigação, até completar 160 h. Os atributos sólidos suspensos e sólidos dissolvidos apresentam risco severo de obstrução de gotejadores para o percolado de aterro sanitário diluído. O indicador de desempenho CUD foi mais sensível à detecção da obstrução dos gotejadores em relação ao CUC. O CUD detectou problemas de obstrução a partir do tempo de operação de 40 h. Os valores de CUC e CUD aprontaram o gotejador G1 como o mais sensível ao entupimento.

**Palavras-chave:** Resíduo sólido urbano, Lixiviado, Gotejadores, CUC, CUD.

### *Application uniformity of diluted landfill percolated in drip irrigation units*

### ABSTRACT

The increased population of humans increasingly resource demand and hence promotes the generation of large quantities of waste. The objective of this study was to analyze the effect of landfill leachate diluted in the uniformity of drip irrigation units, and to characterize the physico-chemical and microbiological obstruction in drippers. The experiment was conducted in a completely randomized design in a split-plot scheme, with kinds of drippers (G1 - 1.6 L h<sup>-1</sup>; G2 - 2.0 L h<sup>-1</sup>, G3 - 4.0 L h<sup>-1</sup> and G4 - 8.0 L h<sup>-1</sup>) on plots and the operating times (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 and 160 h) on subplots, with four replications. The coefficients of uniformity of Christiansen (CUC) and distribution uniformity (CUD) and the physical-chemical and biological landfill leachate diluted were determined every 20 hours of operation of irrigation units, to complete 160 h. The dissolved and

suspended solids solid attributes present a severe risk of drip obstruction to the landfill leachate diluted. The CUD performance indicator is more sensitive to detect the obstruction of the drippers in relation to CUC. The CUD detected clearance problems

from the 40 hours of operating time. The CUC and CUD values readied G1 dripper as the most sensitive to clogging.

**Keywords:** Municipal solid waste, leachate, Drippers, CUC, CUD.

## INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos urbanos e seus subprodutos quando tratados e dispostos de forma planejada e controlada podem ser utilizados em diversas outras atividades, tais como matéria-prima para a construção civil, fazendo parte essencial na composição de argamassas, tijolos e telhas, fabricação de produtos reciclados ou ainda, nas mais diversas atividades agrícolas, como parte integrante na composição da matéria orgânica de adubos e na irrigação (SANTOS; DIAS, 2012).

A disposição do percolado de aterro sanitário no solo é uma possibilidade para o tratamento de resíduos prejudiciais ao meio ambiente (SILVA et al., 2011). Algumas culturas podem ser irrigadas, sem maiores riscos, com água residuária, sendo que alguns problemas de qualidade podem ser superados com práticas de manejo agronomicamente adequadas (SOUZA et al., 2011).

Como desvantagens, os sistemas de irrigação por gotejamento que operam com águas residuárias apresentam suscetibilidade ao entupimento dos gotejadores (DAZHUANG et al., 2009; DURAN-ROS et al., 2009). Na maioria das vezes, o rápido entupimento dos gotejadores, está associado à sensibilidade ao entupimento que varia com as características do gotejador e com a qualidade dos efluentes relacionada aos aspectos físicos, químicos e biológicos (LIU; HUANG, 2009).

A combinação dos agentes físicos, químicos e biológicos consiste na principal causa de obstrução de gotejadores utilizados na aplicação de águas residuárias (RAVINA et al., 1992; TAJRISHY et al., 1994; TAYLOR et al., 1995). No trabalho apresentado por Taylor et al. (1995), verificou-se que 90% dos gotejadores apresentaram entupimento com biofilme, formado por matéria orgânica em decomposição, bactérias e exoesqueleto de *Daphnia* sp, devido à aplicação de esgoto doméstico tratado. Tajrishy et al. (1994) constataram a formação de biofilme, resultante de mucilagens bacterianas e sólidos suspensos, em gotejadores abastecidos com esgoto doméstico secundário. Ravina et al. (1992) afirmaram que o biofilme foi acumulado principalmente na entrada do labirinto dos gotejadores não-autocompensantes e na membrana de silicone dos gotejadores autocompensantes.

O entupimento dos emissores reduz a vazão e, conseqüentemente, diminui a uniformidade de aplicação de água doce ou de efluentes de sistemas de irrigação localizada (CHIENG; GHAEMI, 2003; CAPRA; SCICOLONE, 2004). Segundo Chieng e Ghaemi (2003), o número e a localização de gotejadores parcialmente

entupidos foram os fatores que mais afetaram a uniformidade de aplicação de água de sistemas de irrigação por gotejamento. Os referidos autores obtiveram valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen de 96, 95, 87, 82 e 69% para unidades de aplicação dotadas de gotejadores com entupimento parcial de 0, 5, 10, 20 e 30%, respectivamente. Capra e Scicolone (2004) estudaram o desempenho hidráulico de sistemas de irrigação por gotejamento dotados de quatro tipos de gotejadores, não-autocompensantes, com vazão nominal de 3,8 a 4,0 L h<sup>-1</sup> e abastecidos com esgoto doméstico tratado durante 60 h. Estes autores evidenciaram que os valores do coeficiente de uniformidade de distribuição nos sistemas de irrigação oscilaram de 0 a 77%.

Neste sentido, o presente trabalho objetivou analisar os efeitos da aplicação de percolado de aterro sanitário diluído na alteração da uniformidade de aplicação de efluente em unidades de irrigação por gotejamento, bem como caracterizar os agentes físico-químicos e microbiológico ocasionadores de obstrução em gotejadores.

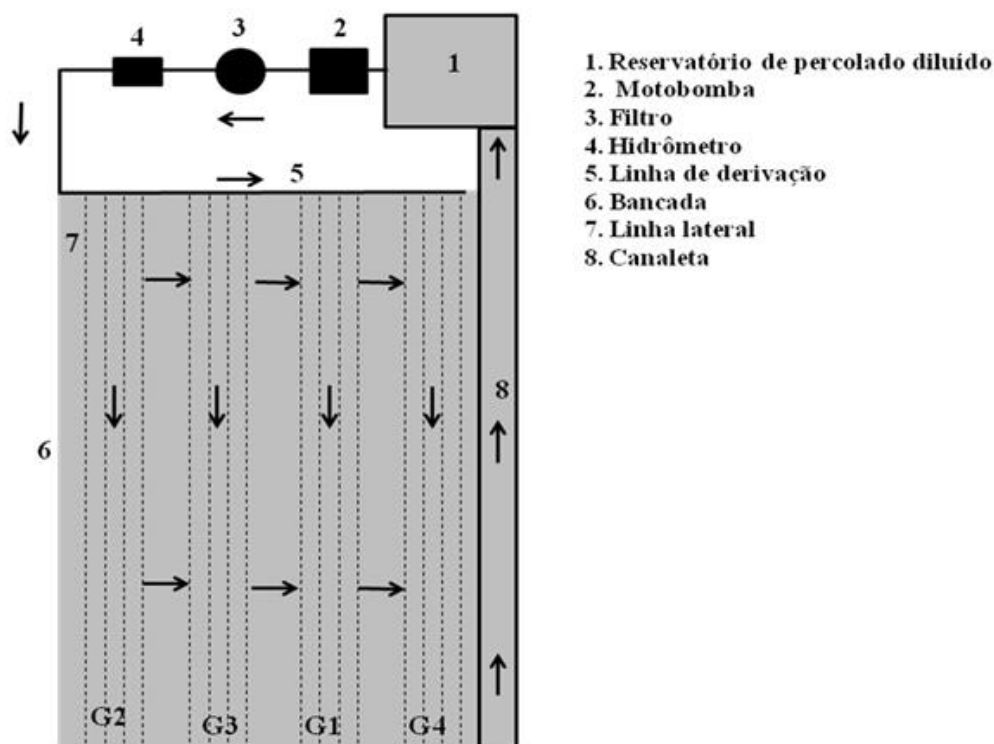
## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado, no período de 21 de agosto a 10 de outubro de 2013, na Unidade Experimental de Reuso de Água (UERA) da Universidade Federal Rural do Semi - Árido (UFERSA), em Mossoró-RN, sob coordenadas geográficas 5°12'27" de latitude sul e 37°19'21" de longitude oeste.

O percolado de resíduo sólido urbano foi transportado de um reservatório superficial, situado no aterro sanitário de Mossoró-RN, utilizando um recipiente plástico com capacidade armazenadora para 1,0 m<sup>3</sup> até a UERA/UFERSA.

Na realização dos ensaios experimentais diluiu-se uma parte do percolado de aterro sanitário (1,25 m<sup>3</sup>) em três partes de água de abastecimento (3,75 m<sup>3</sup>) no reservatório impermeabilizado da UERA com capacidade armazenadora para 5 m<sup>3</sup>. A água de abastecimento utilizada nos ensaios foi oriunda da rede da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN).

Os ensaios experimentais demandaram a montagem de uma bancada construída em alvenaria e concreto na UERA/UFERSA nas dimensões de 2,0 m de largura por 8,0 m de comprimento, com piso impermeabilizado dotado de declividade de 1%, composto por uma canaleta com declividade de 2%, para recirculação do efluente, visando à minimização das perdas por evaporação e da contaminação ambiental (Figura 1).



**Figura 1.** Esquema da bancada experimental, apresentando os componentes.

A jusante desta bancada foi construído um reservatório, em alvenaria e concreto, com capacidade armazenadora para 5,0 m<sup>3</sup>. No interior da bancada experimental foram montadas quatro unidades de irrigação por gotejamento, compostas por um conjunto motobomba de 1,0 cv, um hidrômetro com capacidade para 1,5 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, um filtro de tela com aberturas de 130 µm, linha de derivação com diâmetro nominal de 32 mm de PVC e linhas laterais de polietileno com diâmetro nominal de 16 mm, dotadas de quatro modelos de

gotejadores, muito utilizados na região em projetos de irrigação localizada, conforme apresentado na Figura 1.

Na linha de derivação de cada unidade de irrigação foram inseridos quatro conectores. Para cada modelo de gotejador foram instaladas quatro linhas laterais com 8 m de comprimento. Os quatro modelos de gotejadores avaliados foram selecionados com base na sua menor suscetibilidade ao entupimento, estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1-** Gotejadores (G) utilizados nos ensaios experimentais, destacando o fabricante (F), o dispositivo de autocompensação (DA), a vazão nominal (Q), o coeficiente de vazão (k), o expoente da vazão que caracteriza o regime de escoamento (x), a área de filtragem (A), o comprimento do labirinto (L), o coeficiente de variação de fabricação (CV<sub>f</sub>), a faixa de pressão recomendada (P) e o espaçamento entre emissores (EE)

G	F	DA*	Q* (L h <sup>-1</sup> )	k*	x*	A (mm <sup>2</sup> )	L (mm)	CV <sub>f</sub> * (%)	P* (kPa)	EE* (m)
G1	Plastro Hydrodrip Super	Não	1,65	0,53	0,48	4,0**	37**	± 5	60 - 150	0,30
G2	Netafim PCJ-CNJ	Sim	2,00	2,00	0,00	2,0*	35*	± 7	50 - 400	0,80
G3	Netafim PCJ-CNJ	Sim	4,00	4,00	0,00	2,0*	35*	± 7	50 - 400	0,80
G4	Netafim PCJ-CNJ	Sim	8,00	8,00	0,00	2,0*	35*	± 7	50 - 400	0,80

**Nota:** \* e \*\* informações obtidas nos catálogos dos fabricantes e informações medidas com auxílio de um parquímetro digital com precisão de 0,01 mm, respectivamente. CNJ - sistema anti-drenante.

As unidades de irrigação por gotejamento funcionaram, em média, quatro horas por dia, até completar 160 h seguindo as recomendações de Silva et al. (2013) que constataram redução significativa da uniformidade de aplicação de água residuária em um período de ensaio de 160 h.

O desempenho das unidades de irrigação foi avaliado a cada 20 h, durante o período de aplicação do efluente de 160 h. Nesse período, as vazões dos gotejadores e as características físico-químicas e biológicas do efluente foram determinadas. A vazão foi medida em oito gotejadores, de todas as linhas laterais das unidades de irrigação por gotejamento, coletando-se o volume aplicado durante três minutos.

O desempenho das unidades de irrigação foi obtido empregando-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) aplicando-se as equações 1 e 2, respectivamente.

$$CUC = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}|}{n_e \bar{q}} \right] \quad (1)$$

em que;

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

$q_i$  = vazão de cada gotejador, L h<sup>-1</sup>;

$\bar{q}$  = vazão média dos gotejadores, L h<sup>-1</sup>; e

$n_e$  = número de gotejadores.

$$CUD = 100 \frac{q_{25\%}}{\bar{q}} \quad (2)$$

em que;

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição, %; e

$q_{25\%}$  = valor médio dos 25% menores valores de vazões dos gotejadores, L h<sup>-1</sup>.

Ao longo do período experimental foram realizadas nove amostragens do percolado de aterro sanitário diluído, sendo cada amostragem realizada a cada 20 h de operação das unidades de irrigação, durante 160 h. Nestas amostras foram determinadas as características físico-químicas e microbiológica, seguindo as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (RICE et al., 2012).

Para isso, foram medidos os valores do pH, com peagâmetro de bancada; a condutividade elétrica, com condutivímetro; as concentrações de ferro total e manganês total, por espectrofotometria de absorção atômica; as concentrações de cálcio e magnésio, pelo método titulométrico. As concentrações dos sólidos suspensos e dos sólidos totais foram determinadas pelo

método gravimétrico, enquanto as concentrações dos sólidos dissolvidos foram obtidas pela diferença de sólidos totais e sólidos suspensos. A população dos coliformes totais foi determinada pelo número mais provável de coliformes totais empregando o método dos tubos múltiplos.

O experimento foi montado em esquema de parcelas subdivididas, tendo, nas parcelas, os tipos de gotejadores (G1, G2, G3 e G4) e, nas subparcelas, os períodos das avaliações (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 horas), no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, conforme a metodologia proposta por Batista et al. (2013).

Com a finalidade de minimizar o entupimento dos emissores a pressão de serviço das unidades de irrigação foi mantida no valor de 140 kPa por meio de manômetro, seguindo as recomendações de Silva et al. (2013) para operação de unidade de irrigação por gotejamento operando com água residuária. A pressão de serviço foi medida, diariamente, com um manômetro de glicerina graduado de 0 a 400 kPa.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), empregando-se o teste F a 5% de probabilidade. As médias foram comparadas, utilizando-se o teste Tukey, a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas empregando-se o programa computacional Sisvar 5.1 Build 72 (FERREIRA, 2011).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estão apresentados na Tabela 2 o valor médio e o desvio padrão das características físico-químicas e microbiológica de nove amostras do percolado de aterro sanitário diluído, durante as 160 h de operação das unidades de irrigação.

O valor médio do pH encontra-se dentro da faixa de 7,0 a 7,5 proposta por Nakayama et al. (2006) que classifica o risco de obstrução de gotejadores como moderado, em função da suscetibilidade da precipitação de elementos químicos. Em condições experimentais diferentes, Batista et al. (2013) encontraram valor de pH semelhante de 7,54 em água residuária de suinocultura.

Segundo a Portaria nº 154/2002 (CEARÁ, 2002), o valor médio da condutividade elétrica foi inferior ao limite de 3,0 dS m<sup>-1</sup> proposto para uso agrícola de água residuária.

Os sólidos suspensos e dissolvidos apresentaram teores superiores a 100 mg L<sup>-1</sup> e 2000 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente, indicando severo risco de obstrução de gotejadores conforme as recomendações propostas por Nakayama et al. (2006). No trabalho de Silva et al. (2013) foram obtidos teores médios de sólidos suspensos e dissolvidos de 290 mg L<sup>-1</sup> e 2344 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente, na água residuária do processamento da castanha de caju, porém em condições experimentais diferentes das apresentadas no presente trabalho.

A concentração média do ferro total encontra-se dentro da faixa de 0,2 a 1,5 mg L<sup>-1</sup>, sendo o risco de obstrução de gotejadores classificado como moderado, devido a suscetibilidade de formação de precipitados e

ferrobactérias (NAKAYAMA; et al., 2006). O valor médio do ferro total foi inferior a  $5,0 \text{ mg L}^{-1}$  não contribuindo para a acidez e a indisponibilidade do fósforo e do molibdênio no solo, caso este efluente fosse utilizado na produção agrícola (ALMEIDA, 2010).

**Tabela 2-** Valor médio e desvio padrão das características físico-químicas e microbiológicas de nove amostragens do percolado de aterro sanitário diluído, ao longo do período experimental.

Características	Média e desvio padrão	Risco de obstrução
pH	$7,45 \pm 0,36$	Moderado <sup>a</sup>
Condutividade elétrica ( $\text{dS m}^{-1}$ )	$2,80 \pm 0,71$	-
Sólidos suspensos ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$216 \pm 183$	Severo <sup>a</sup>
Sólidos dissolvidos ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$2695 \pm 2193$	Severo <sup>a</sup>
Ferro total ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$0,85 \pm 0,19$	Moderado <sup>a</sup>
Manganês total ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$0,03 \pm 0,01$	Baixo <sup>a</sup>
Cálcio ( $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$ )	$1,16 \pm 0,30$	Baixo <sup>b</sup>
Magnésio ( $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$ )	$1,94 \pm 0,48$	Baixo <sup>b</sup>
População bacteriana (100 NMP 100 $\text{mL}^{-1}$ )	$20 \pm 30$	Baixo <sup>a</sup>

**Nota:** (a) Segundo Nakayama et al. (2006) e (b) De acordo com Capra e Scicolone (1998); e NMP - número mais provável.

Para o manganês total a concentração média foi inferior ao valor de  $0,1 \text{ mg L}^{-1}$  que classifica o risco de obstrução de gotejadores como baixo (NAKAYAMA et al., 2006). Além disso, a concentração média de manganês foi menor que  $0,20 \text{ mg L}^{-1}$ , não representando riscos de toxicidade para cultivos agrícolas obtidos em solos ácidos.

Em condições experimentais diferentes, Batista et al. (2013) encontraram riscos de obstrução de gotejadores classificados como severo e moderado para o ferro total e manganês total, respectivamente, em estudos com água residuária de suinocultura.

Segundo Capra e Scicolone (1998), os teores médios de cálcio e magnésio foram inferiores a  $12,5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$  e  $2,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ , respectivamente, classificando o risco de obstrução de gotejadores como baixo. Em condições experimentais diferentes das encontradas no presente trabalho, Silva et al. (2013) obtiveram valores médios de cálcio e magnésio de  $11,89 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$  e  $4,32 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ , respectivamente, representando riscos de obstrução classificados como baixo e moderado, nos estudos com água residuária do processamento da castanha de caju.

O nível populacional médio de bactérias foi inferior ao limite de 5000 NMP por 100 mL proposto pela Portaria nº 154/2002 (CEARÁ, 2002) para irrigação de cultivos agrícolas não consumidos crus. Com relação ao risco de obstrução da população bacteriana, o mesmo foi classificado como baixo por Nakayama et al. (2006).

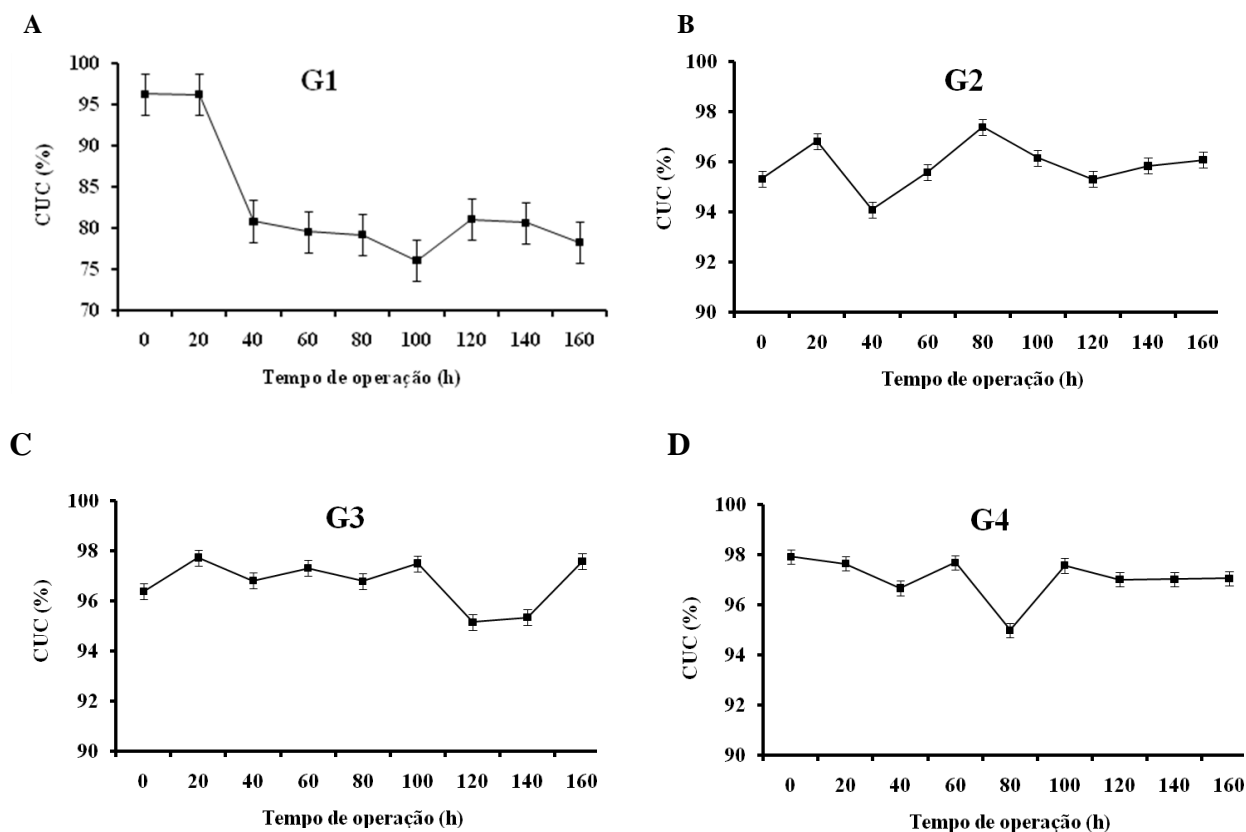
Evidenciou-se, na Figura 2, que a aplicação do percolado de aterro diluído propiciou maiores alterações no CUC da unidade de irrigação dotada do gotejador G1, devido provavelmente ao maior comprimento de labirinto

desse tipo gotejador em relação aos demais. Este resultado corrobora com o encontrado por Silva et al. (2013), que ensaiou o mesmo tipo de gotejador com água residuária da castanha de caju, durante 160 h.

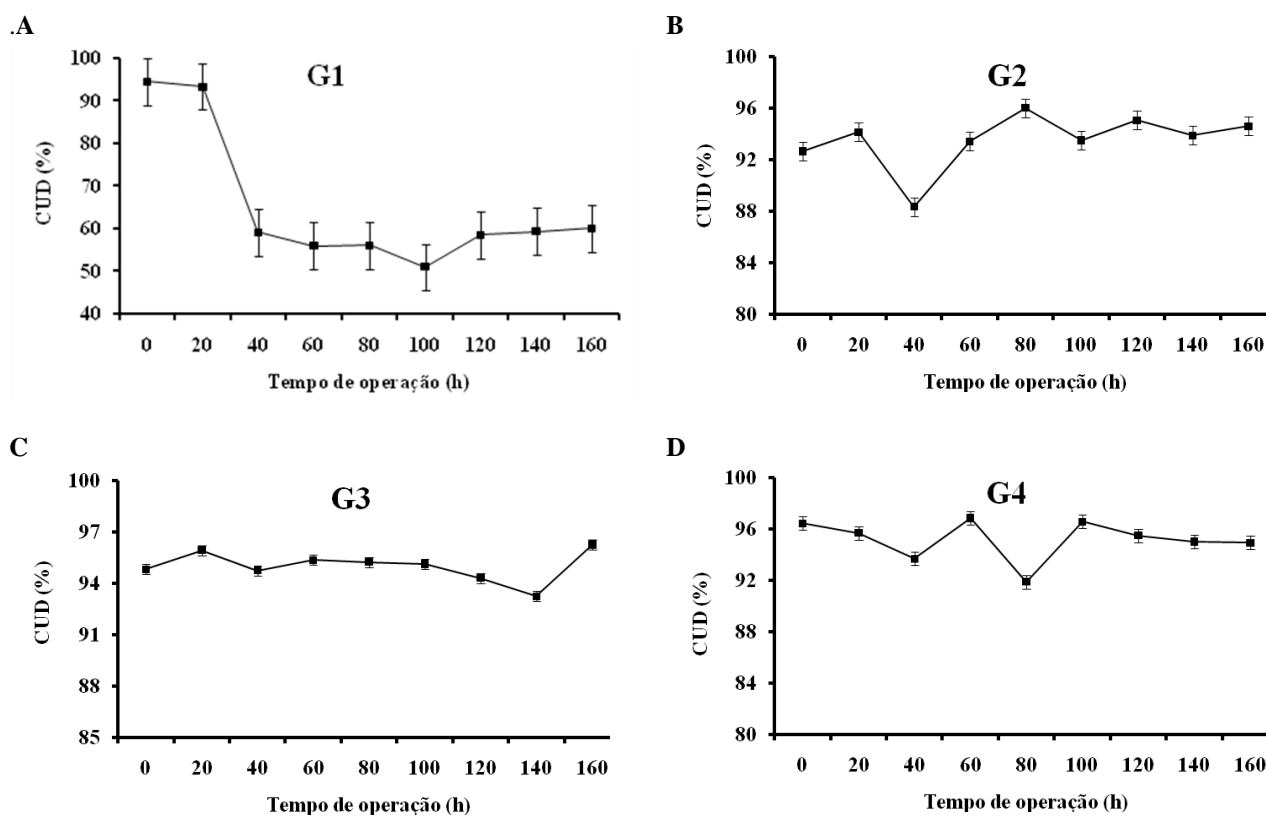
No início do experimento (0 h), os valores de CUC das unidades de irrigação dotadas dos gotejadores G1, G2, G3 e G4 foram de 96, 95, 96 e 98%, respectivamente, sendo classificados por Merriam e Keller (1978) como excelentes ( $\text{CUC} > 90\%$ ). Já no tempo de avaliação de 160 h o CUC da unidade de irrigação com gotejador G1 foi de 78% classificado como bom ( $70\% < \text{CUC} < 80\%$ ); nas unidades de irrigação com os gotejadores G2, G3 e G4 os valores de CUC foram de 96, 98 e 97%, respectivamente, classificados como excelentes ( $\text{CUC} > 90\%$ ) por Merriam e Keller (1978).

Comparando-se os tempos de avaliação inicial (0h) e final (160 h) notou-se redução no CUC de 19 e 1% apenas nas unidades de irrigação com os gotejadores G1 e G2. Esses resultados diferem dos encontrados por Batista et al. (2010) em condições experimentais diferentes, onde constataram redução no CUC de 4% em unidade de irrigação por gotejamento abastecida com água residuária doméstica terciária, durante 120 h.

Notou-se, na Figura 3, que as maiores alterações nos valores do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) ocorreram na unidade de irrigação dotada do gotejador G1, devido também a maior suscetibilidade ao entupimento desse tipo de emissor atribuída ao maior comprimento de labirinto.



**Figura 2-** Valores médios do CUC e erro padrão, ao longo do período de operação, nas unidades de irrigação dotadas dos gotejadores G1 (A), G2 (B), G3 (C) e G4 (D).



**Figura 3-** Valores médios do CUD e erro padrão, ao longo do período de operação, nas unidades de irrigação dotadas dos gotejadores G1 (A), G2 (B), G3 (C) e G4 (D).

No tempo de avaliação inicial (0 h) os valores de CUD foram de 94, 93, 95 e 96% nas unidades de irrigação dotadas dos gotejadores G1, G2, G3 e G4, respectivamente, recebendo a classificação excelente (CUD > 90%), conforme os critérios estabelecidos por Merriam e Keller (1978). Enquanto, no tempo de avaliação final (160 h) apenas o CUC da unidade de irrigação com gotejador G1 (60%) recebeu a classificação ruim (CUD < 70%), o CUC das demais unidades de irrigação continuaram apresentando valores de CUD classificados como excelentes (MERRIAM; KELLER, 1978).

Estabelecendo comparação entre os tempos de avaliação inicial (0 h) e final (160 h), somente as unidades de irrigação dotadas dos gotejadores G1 e G4 apresentaram redução nos valores de CUD de 36 e 2%, respectivamente. Em condições experimentais diferentes, Batista et al. (2010) encontraram redução de 11% no valor

médio do CUD, após 120 h de operação de um sistema de irrigação por gotejamento abastecido com água residuária doméstica terciária.

Na Tabela 3, encontra-se o resumo da análise de variância (ANOVA) das variáveis CUC e CUD das unidades de irrigação dotadas dos gotejadores G1, G2, G3 e G4, ao longo do período experimental. Para a variável CUC, apenas o fator tipo de gotejador (G) foi significativa a 5% de probabilidade, pelo teste F, tendo coeficiente de variação das subparcelas (CV subparcelas) com valor de 6,49%. Enquanto, para a variável CUD tanto o fator G quanto a interação G x T foram significativas a 5% de probabilidade, pelo teste F, apresentando valor de CV subparcelas de 14,69%. Este resultado indica que o indicador de desempenho hidráulico CUD apresenta maior sensibilidade para detecção do entupimento de gotejadores que operaram com percolado de aterro sanitário diluído, em relação ao indicador CUC.

**Tabela 3-** Resumo da análise de variância obtidas das variáveis CUC e CUD, no esquema de parcelas subdivididas.

Fontes de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio	
		CUC	CUD
Tipo de gotejador (G)	3	1635,47*	7727,48*
Resíduo (a)	9	488,54	2244,26
Tempo de avaliação (T)	8	67,59 <sup>ns</sup>	294,95 <sup>ns</sup>
G x T	24	57,96 <sup>ns</sup>	273,26*
Resíduo (b)	99	36,56	164,09
CV (%) parcelas		23,72	54,31
CV (%) subparcelas		6,49	14,69

\* e <sup>ns</sup> significativo e não a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. CV = coeficiente de variação.

Na Tabela 4 constam os valores médios do CUC nas unidades de irrigação, para o fator tipo de gotejador. Verificou-se, nessa tabela, que o CUC de G1 difere estatisticamente do CUC de G4, enquanto este não apresenta diferença estatística em relação ao CUC de G2 e G3. Em condições experimentais diferentes, Cunha et al. (2006) encontraram valores médios de CUC de 95% no tempo de operação inicial (0 h) e CUC de 0% no tempo de operação final (36 h) em sistemas de irrigação por gotejamento abastecido com água residuária da despolpa

dos frutos do cafeeiro não filtrada. Ainda segundo os referidos autores, a utilização de água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro filtrada reduziu o CUC de 96% para 26% com 144 h de operação do sistema de irrigação por gotejamento. Busato e Soares (2010) encontraram valores de CUC iguais a 96 e 74% nos tempos de operação de 0 e 700 h, respectivamente, em unidade de irrigação por gotejamento operando com água ferruginosa.

**Tabela 4-** Valores médios do CUC (%) das unidades de irrigação para o fator qualitativo tipo de gotejador

Tipo de gotejador	CUC (%)
G1	83,10b
G2	95,83ab
G3	96,73ab
G4	97,05a

\* Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Apresentam-se, na Tabela 5, os valores médios do CUD das unidades de irrigação, para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de avaliação. Analisando os gotejadores G2, G3 e G4, verificou-se que não houve diferença estatística, ao longo do tempo de operação, e nem entre estes gotejadores para cada tempo de operação. Enquanto, para o gotejador G1 houve diferença estatística a partir do tempo de operação de 40 h. Esses resultados divergem dos apresentados por Cunha et al. (2006), onde

o CUD foi de 0% tanto para água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro não filtrada após 36 h de operação quanto para água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro filtrada após 144 h de operação. Puig-Bargués et al. (2010) constataram reduções nos valores de CUD de 95,1% para 76,0% após 1620 h de operação das unidades de irrigação por gotejamento que aplicaram água residuária tratada

**Tabela 5-** Valores médios do CUD (%) das unidades de irrigação para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de avaliação

Tempos de avaliação (horas)	Tipo de gotejador			
	G1	G2	G3	G4
0	94,51aA	92,64aA	94,81aA	96,42aA
20	93,29aA	94,11aA	95,92aA	95,68aA
40	59,06bB	88,32aA	94,74aA	93,65aA
60	55,94bB	93,41aA	95,34aA	96,84aA
80	56,05bB	96,00aA	95,24aA	91,88aA
100	50,94bB	93,49aA	95,11aA	96,56aA
120	58,47bB	95,05aA	94,29aA	95,47aA
140	59,26bB	93,86aA	93,23aA	95,00aA
160	60,06bB	94,58aA	96,25aA	94,91aA

\* Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra nas colunas e nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

## CONCLUSÃO

Os atributos sólidos suspensos e sólidos dissolvidos apresentam risco severo de obstrução de gotejadores para o percolado de aterro sanitário diluído.

O indicador de desempenho CUD foi mais sensível à detecção da obstrução dos gotejadores em relação ao CUC.

O CUD detectou problemas de obstrução a partir do tempo de operação de 40 h.

Os valores de CUC e CUD aprontaram o gotejador G1 como o mais sensível ao entupimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, O. T. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 227p.

BATISTA, R. O.; SOUZA, J. A. R.; FERREIRA, D. C. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, v.57, n.1, p. 18-22, 2010.

BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, D. B.; OLIVEIRA, A. F. M.; AZEVEDO, C. A. V.; 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**, Campina Grande, v. 17, n. 7, p. 698–705, 2013.

BUSATO, C. C. M.; SOARES, A. A. Desempenho de gotejadores utilizando água de baixa qualidade química e biológica. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 5, p. 739-746, 2010.

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.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 68, n. 2, p.135-149, 2004.

CEARÁ. **Portaria nº154, de 22 de Julho de 2002**. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de



- efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Diário Oficial do Estado do Ceará, Fortaleza, 2002. Disponível em: <[http://www.semace.ce.gov.br/biblioteca/legislacao/conteudo\\_legislacao.asp?cd=95](http://www.semace.ce.gov.br/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95)>. Acesso em: 28 dez. 2013.
- CHIENG, S.; GHAEMI, A. Uniformity in a microirrigation with partially clogged emitters. **ASAE Annual International Meeting**, St. Joseph, 2003. (Paper n. 032097)
- CUNHA, F. F.; MATOS, A. T.; BATISTA, R. O.; LO MONACO, P. A. Uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação por gotejamento utilizando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 143-147, 2006.
- DAZHUANG, Y.; ZHIHUI, B.; ROWAN, M.; LIKUN, G.; SHUMEI, R.; PEILING, Y. Biofilm structure and its influence on clogging in drip irrigation emitters distributing reclaimed wastewater. **Journal of Environmental Sciences**, Beijing, v. 21, n. 6, p. 834-841, 2009.
- DURAN-ROS, M.; PUIG-BARGUE'S, J.; ARBAT, G.; BARRAGAN, J.; RAMÍREZ DE CARTAGENA, F. Effect of filter, emitter and location on clogging when using effluents. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n.1, p. 67-79, 2009.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- LIU, H.; HUANG, G. Laboratory experiment on drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n.5, p. 745-756, 2009.
- NAKAYAMA, F. S.; BOMAN, B. J.; PITTS, D. Maintenance. In: LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. (Eds.). *Microirrigation for crop production: Design, Operation, and Management*. Amsterdam: Elsevier, 2006, cap. 11, p. 389 - 430.
- PUIG-BARGUÉS, J.; ARBAT, G.; ELBANA, M.; DURAN-ROS, M.; BARRAGÁN, J.; RAMÍREZ DE CARTAGENA, F.; LAMM, F. R. Effect of flushing frequency on emitter clogging in microirrigation with effluents. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 6, p. 883-891, 2010.
- RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SHISHA, A.; SAGI, G. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimer wastewater. **Irrigation Science**, New York, v. 13, n. 3, p. 129-139, 1992.
- RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; CLESCERI, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2012. 1496p.
- SANTOS, M. C. L.; DIAS, S. L. F. G. **Resíduos sólidos urbanos e seus impactos sócioambientais**. São Paulo: IEE-USP, 2012. 80p.
- SILVA, K. B.; SILVA JÚNIOR, M. J.; BATISTA, R. O.; SANTOS, D. B.; BARBOSA FILHO, S. Desempenho de gotejadores operando com efluente da castanha de caju sob distintas pressões de serviço. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n.3, p. 339-346, 2013.
- SILVA, D. F.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; CECON, P. R.; BATISTA, R. O.; MOREIRA, D. A. Alteração química de solo cultivado com capim Tifton 85 (*Cynodon spp.*) e fertirrigado com percolado de resíduo sólido urbano. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá, v. 33, n. 3, p. 243-251, 2011.
- SOUZA, J. A. A.; BATISTA, R. O.; RAMOS, M. M.; SOARES, A. A. Contaminação microbiológica do perfil do solo com esgoto sanitário. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 33, n.1, p.5-8, 2011.
- TAJRISHY, M.; HILLS, D. J.; TCHOBANOGLIOUS, G. Pretreatment of secondary effluent for drip irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 120, n. 4, p. 716-731, 1994.
- TAYLOR, H. D.; BASTOS, R. K. X.; PEARSON, H. W.; MARA, D. D. Drip irrigation with waste stabilization pond effluents: solving the problem of emitter fouling. **Water Science Technology**, London, v. 31, n. 12, p. 417-424, 1995.