

## **DESEMPENHO HIDRÁULICO DE GOTEJADORES OPERANDO COM ÁGUA RESIDUÁRIA**

Erialdo de Oliveira Feitosa<sup>1</sup>, Fernando Bezerra Lopes<sup>2</sup>, Ana Caroline Messias de Magalhães<sup>3</sup>  
Cristiano Dantas Araújo<sup>4</sup>, Cley Anderson Silva de Freitas<sup>5</sup>, Clemilton da Silva Ferreira<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil,  
erialdofeitosa5@gmail.com;

<sup>2</sup> Professor adjunto, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,  
Brasil, lopesfb@ufc.br;

<sup>3</sup> Doutoranda em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil,  
ana\_magalhaes@hotmail.com.br;

<sup>4</sup> Téc. Agrícola, CAGECE, Fortaleza-CE. Fone: (85) 3101-1949, cristiano.araujo@cagece.com.br

<sup>5</sup> Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, IFCE, 52320-000, Tianguá-CE,  
cleyanderson@ifce.edu.br; clemil@ifce.edu.br.

**RESUMO:** O reúso de água na agricultura é uma alternativa que vem sendo intensificada nos últimos anos, devido à minimização da degradação dos corpos hídricos, além da possibilidade de fornecimento de água e nutrientes às plantas. Entretanto, na irrigação por gotejamento tem como maior vulnerabilidade a susceptibilidade ao entupimento dos emissores. Desta forma, objetivou-se analisar o desempenho hidráulico de gotejadores operando com efluente doméstico tratado. A pesquisa foi conduzida na área experimental da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Tianguá - CE pertencente à Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE). A metodologia utilizada para análise do desempenho hidráulico foi à proposta por Keller e Karmeli, em que foram analisados o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), além da eficiência de aplicação (Ea). Foram realizadas três avaliações: a primeira avaliação inicial, após a instalação do sistema em campo. A segunda avaliação com 50 h de operação. E a última avaliação equivalente a 100 h de operação do sistema de irrigação. Os resultados obtidos nas avaliações foram: CUD 89,1%, 87,5% e 83,1% respectivamente. Já o CUC 92,1% na avaliação inicial, 92% com 50 h de operação e 88,7 com 100 h de operação. E por fim a eficiência de aplicação correspondeu a 80,1%, 78,8% e 74,7% respectivamente. Portanto, os coeficientes de uniformidade CUC e CUD, e a eficiência de aplicação encontram-se dentro dos níveis aceitáveis segundo a literatura pertinente. O tempo de exposição dos gotejadores ao efluente doméstico tratado afeta a vazão dos emissores, conseqüentemente influencia no desempenho hidráulico do sistema de irrigação.

**Palavras-chave:** Reúso de água, irrigação localizada, coeficientes de uniformidade.

## **INTRODUÇÃO**

A uniformidade de distribuição é uma informação importante para a avaliação de sistemas de irrigação, tanto na fase de projeto como no acompanhamento do desempenho após a implantação, com o intuito de melhorar a eficiência de uso da água (CARVALHO et al., 2011).

Segundo Barreto Filho et al. (2000), a uniformidade de aplicação de água é um parâmetro que caracteriza o sistema de irrigação em função da diferença de volume aplicado no solo ao longo das linhas laterais. A uniformidade da irrigação tem efeito direto no rendimento de culturas, por isso, é considerada como um dos fatores mais importantes no dimensionamento e na operação de sistemas de irrigação.

O sistema de irrigação por gotejamento apesar de sua elevada eficiência na aplicação de efluentes e baixo risco de contaminação ambiental, no momento da disposição desse resíduo líquido no solo, se mostra muito vulnerável ao entupimento em relação à irrigação por aspersão e por superfície (BATISTA et al., 2013; FERNANDES et al., 2014).

Song et al. (2017) destacam que a principal causa de entupimento dos gotejadores operando com água residuária, consiste na bioincrustação formada nos dispositivos internos dos emissores, afetando, assim os indicadores de desempenho hidráulico e eficiência de aplicação do efluente pelo equipamento e, conseqüentemente, a produtividade do cultivo agrícola explorado.

Para Silva et al. (2012), o maior desafio para o uso do sistema de gotejamento com águas de baixa qualidade é manter a excelente uniformidade de distribuição do sistema. A utilização contínua do esgoto doméstico tratado na irrigação promove perdas no desempenho hidráulico dos gotejadores.

Fernandes et al. (2014) observaram redução de até 42% na vazão dos gotejadores utilizados na aplicação de água residuária da castanha de caju durante 160 h de operação, enquanto Silva et al. (2013) trabalharam com o mesmo tipo de efluente, evidenciaram aumento do coeficiente de variação de vazão, atingindo valores de até 44% na unidade gotejadora.

Batista et al. (2006) e Batista; Sousa e Ferreira, (2010) ressaltam que a redução na vazão ocorreu por causa da ação de colônias de bactérias e algas que formam uma mucilagem, também conhecida como biofilme, tendo implicações no entupimento parcial e/ou total dos emissores.

Batista et al. (2011) observaram que os atributos físicos e químicos do esgoto tratado também influenciam diretamente a obstrução dos emissores. Batista et al. (2006) obtiveram CUC superior a 90% com 120 h de funcionamento, e Silva et al. (2012) observou o CUC variando de 45,7 a 88,3% com apenas 48 h de aplicação da água residuária.

Dessa forma, o conhecimento das características hidráulicas do escoamento de águas residuárias nas tubulações e emissores torna-se uma informação fundamental no dimensionamento de sistemas de irrigação. Assim sendo, necessita de mais pesquisas no sentido de conhecer o desempenho hidráulico dos sistemas de irrigação que operam com efluentes tratados, por se tratar de um fluido com comportamento diferente da água. Diante do exposto, objetivou-se analisar o desempenho de gotejadores em diferentes tempos de operação com efluente doméstico tratado durante o ciclo da cultura do feijão-caupi.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida na área experimental da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Tianguá - CE pertencente à Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE), situada no município de Tianguá do Ceará, localizada geograficamente a 3° 44' de latitude Sul e 40° 59' de longitude Oeste do meridiano de Greenwich e 740 m de altitude. De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante é do tipo Aw– Clima tropical com estação seca. A temperatura média anual 26 °C e pluviometria média anual de 1.350 mm.

A área total do experimento cultivada com o feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) foi de 1.020 m<sup>2</sup> (17 m x 60 m), as parcelas experimentais foram 34 m<sup>2</sup> (17 m x 2 m), compostas de 3 subparcelas de 11,2 m<sup>2</sup> (5,6 m x 2 m). O espaçamento entre plantas foi 0,4 m e entre fileiras de plantas 2 m. Adotou-se o sistema de irrigação localizado tipo gotejamento do fabricante Amanco, modelo Drip, vazão nominal de 1,61 L h<sup>-1</sup> com pressão de serviço 100 kPa. O espaçamento entre emissores de 0,2 m sendo dois emissores para cada planta.

O efluente doméstico tratado utilizado para irrigar a cultura foi oriundo da Estação de Tratamento de Esgoto de Tianguá (ETE), pertencente à Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), em que a tecnologia de tratamento é por meio de lagoas de estabilização, no qual é composto por uma lagoa anaeróbia, uma facultativa e três de maturação.

A metodologia utilizada para análise do desempenho hidráulico foi à proposta por Keller e Karmeli (1974), em que são avaliadas 4 linhas, ou seja, a primeira linha, as localizadas a 1/3, a 2/3 do início da área irrigada e a última. Foram avaliados em cada linha 4 gotejadores, sendo o primeiro e os localizados a 1/3, a 2/3 do início da linha gotejadora e o último, totalizando 16 gotejadores.

Foram realizadas três avaliações: A primeira avaliação inicial ocorreu no dia 06/11/2017, após instalação do sistema em campo. A segunda avaliação ocorreu no dia 04/12/2017 correspondente a 50 h de operação. E a última avaliação foi no dia 03/01/2018 equivalente a 100 h de operação do sistema de irrigação.

Utilizou-se um cronômetro e uma proveta volumétrica com capacidade para 100 ml, para mensuração do volume de água dos recipientes de plástico que acumulavam a água proveniente dos gotejadores, após 3 minutos todos os recipientes eram retirados ao mesmo tempo, e posteriormente era efetuada a medição da quantidade de água acumulada, esse procedimento foi repetido três vezes. Por fim, os volumes coletados foram convertidos para L h<sup>-1</sup>. Após a coleta dos dados em campo, os mesmos foram devidamente calculados obtendo os valores do CUC (equação 1), CUD (equação 2) e a eficiência de aplicação Ea (equação 3). (Bernardo, 1995).

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_{média}|}{n * q_{média}} \right) \quad (1)$$

em que: CUC é o coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %; q<sub>i</sub> é a vazão do i-ésimo ponto de emissão, em L h<sup>-1</sup>; q<sub>média</sub> é a vazão média de todos os pontos de emissão, em L h<sup>-1</sup>; n é o número de pontos de emissão.

$$CUD = \frac{q_{25}}{q_{média}} * 100 \quad (2)$$

em que: CUD é o coeficiente de uniformidade de distribuição, em %;  $q_{25}$  é a vazão média dos 25% menores valores de  $q_i$ , em  $L h^{-1}$ .

$$E_a = CUD * 0,9 \quad (4)$$

Para a interpretação dos valores obtidos pela CUD utilizou-se a metodologia de Merriam e Keller (1978), onde o CUD maior que 90% é classificado como excelente; entre 80% e 90%, bom; 70% e 80%, regular; e menor que 70% é ruim,

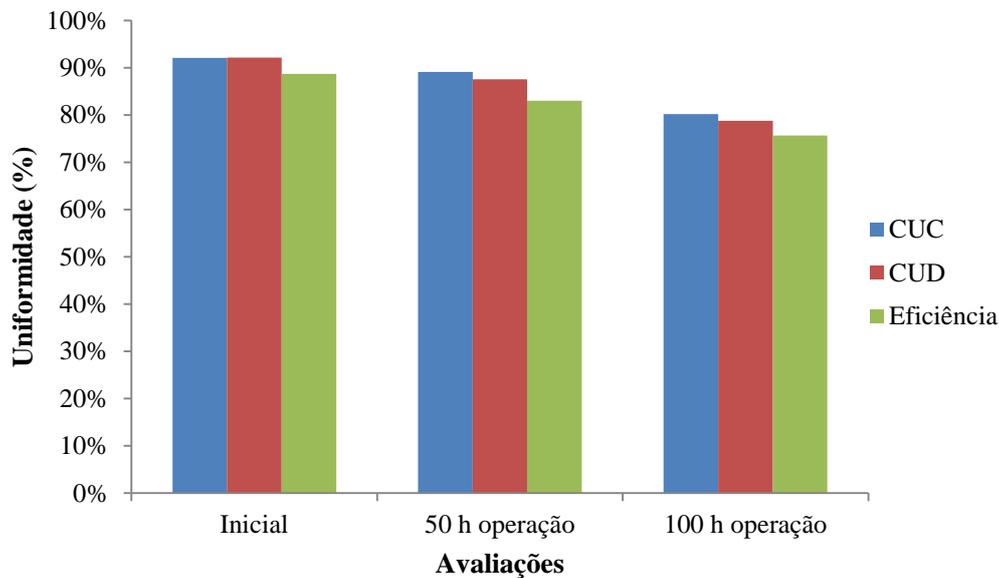
Também foram analisados segundo os critérios de Bernardo et al. (2006) que qualificam a uniformidade de aplicação de água dos sistemas de irrigação do seguinte modo: Excelente quando a uniformidade se encontra acima de 90%, bom de 80 a 90%, regular de 70 a 80%, ruim 70 a 60% e inaceitável abaixo de 60%. Os valores obtidos de CUD são geralmente menores que os valores de CUC.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros avaliados (CUC, CUD e eficiência de aplicação) apresentaram valores decrescentes conforme aumentava o tempo de operação do sistema de irrigação com água residuária (Figura 1). Na primeira avaliação o valor do CUC foi acima de 90% estando assim dentro do limite aceitável para sistemas de irrigação localizada, segundo Bernardo et al. (2006), que recomenda um valor mínimo admitido do CUC de 80% dentro da parcela de irrigação. Já na segunda avaliação equivalente a 50 h de operação, o CUC manteve dentro do limite classificado como excelente, bem como, acima de 92%. Porém na última avaliação, correspondente a 100 h de operação houve uma redução para 88,71% ainda assim dentro do limite classificado como bom para sistema de irrigação localizado.

O valor do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) encontra-se classificado como bom segundo a classificação proposta por Keller e Karmeli (1974), a qual especifica como tais valores de CUD superiores a 80%. Os valores foram 89% na avaliação inicial, 87% com 50 h de operação e 83% com 100 h de operação mostrando novamente redução da distribuição uniforme de água com o aumento do tempo de exposição dos gotejadores ao efluente tratado (Figura 1).

Batista et al. (2006) obtiveram um CUC de 90% após 120 h de aplicação com esgoto doméstico tratado. Já Silva et al. (2012) verificaram um CUC variando de 45,7% a 88,3% em apenas 48 h de funcionamento com água residuária. Tais divergências dos coeficientes esta associado ao tipo de tratamento do efluente doméstico, pois a tecnologia de tratamento do efluente determinar a qualidade físico-química e microbiológica da água residuária e consequentemente sua qualidade para uso na irrigação, além do próprio sistema de filtragem utilizado na irrigação. Batista et al. (2011) afirmaram que os atributos físicos e químicos do esgoto influenciam diretamente o tempo de obstrução dos emissores.



**Figura 1** - Desempenho hidráulico dos gotejadores sob diferentes tempos de operação com esgoto doméstico tratado, Tianguá - CE

A eficiência de irrigação teve um comportamento decrescente à medida que aumentou o tempo de exposição dos gotejadores ao esgoto doméstico tratado, sendo que na avaliação inicial a eficiência foi 80,19%. Já na segunda avaliação, após 50 h de operação houve uma redução, ficando este em torno de 78% e na última avaliação, equivalente a 100 h de operação a eficiência de aplicação foi aproximadamente 75%.

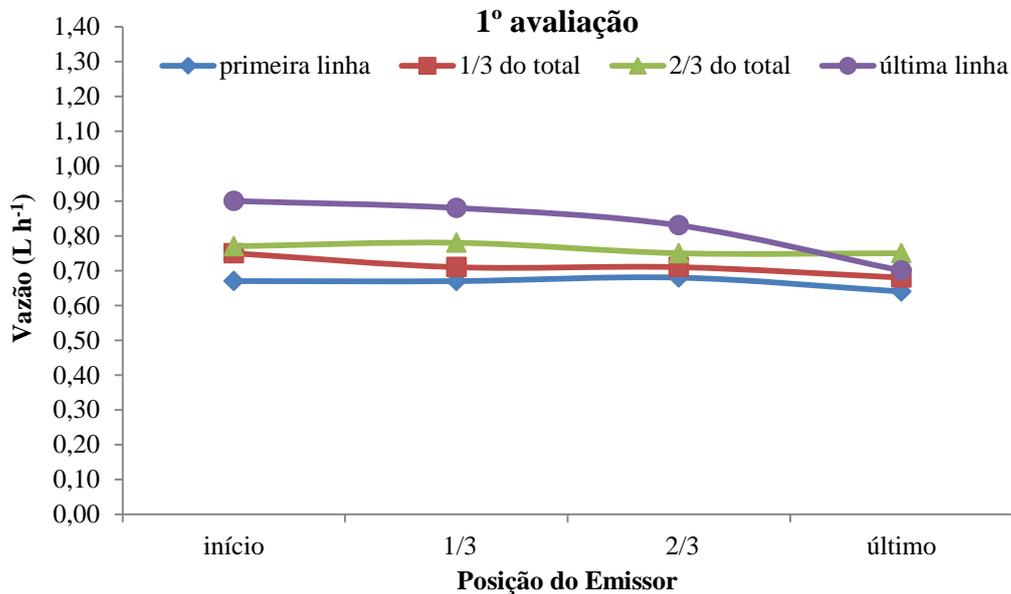
Os valores da eficiência de aplicação ( $E_a$ ) obtidos nas três avaliações estão abaixo do valor recomendado pelo manual da FAO 36, que deveria ser de 90%, o que indica que o sistema necessita de limpeza, visto que, esses dados indicam que o emissor está com sedimentos impedindo a passagem da água ou está trabalhando com uma pressão de serviço abaixo da recomendada pelo fabricante. Segundo Ayers e Westcot (1999), o entupimento dos emissores ocorre devido à presença de sólidos que se encontram em suspensão, o que influencia diretamente na eficiência do sistema de irrigação.

Freitas et al. (2015) no estudo sobre o desempenho hidráulico de gotejadores sob o tempo de exposição ao esgoto doméstico tratado observaram que os gotejadores autocompensantes Katif apresentaram bom funcionamento sob pressões de 100 a 200 kpa e que o desempenho hidráulico dos mesmos se alterou quando a irrigação foi feita com esgoto doméstico tratado.

Com relação à vazão média dos gotejadores foi observada uma variação de 0,60 a 0,90  $L h^{-1}$  valor abaixo do indicado pelo fabricante de 1,61  $L h^{-1}$  uma vez que, o sistema estava operando a uma pressão de serviço abaixo da recomendada pelo fabricante, em torno de 30% abaixo do recomendado. Entretanto, nessa faixa de vazão verificou-se na primeira avaliação uma maior padronização dos valores de vazão, no qual os gotejadores localizados no início da linha apresentavam maiores vazões, diferentemente das vazões dos emissores localizados na última linha, em que apresentavam menores vazões, devido a maior pressão nos emissores localizados no início das linhas (Figura 2).

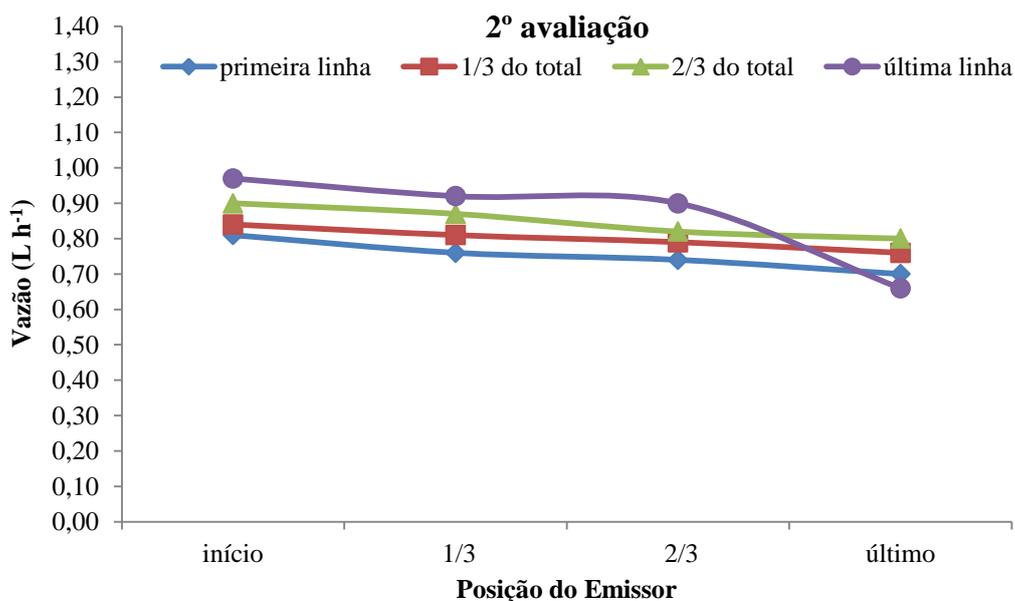
Com relação à vazão nas linhas laterais verificou-se um comportamento crescente de valores da primeira linha até a última linha em função do sentido da declividade da área que

favoreceu o aumento de pressão nas últimas linhas, consequentemente maiores vazões dos emissores.



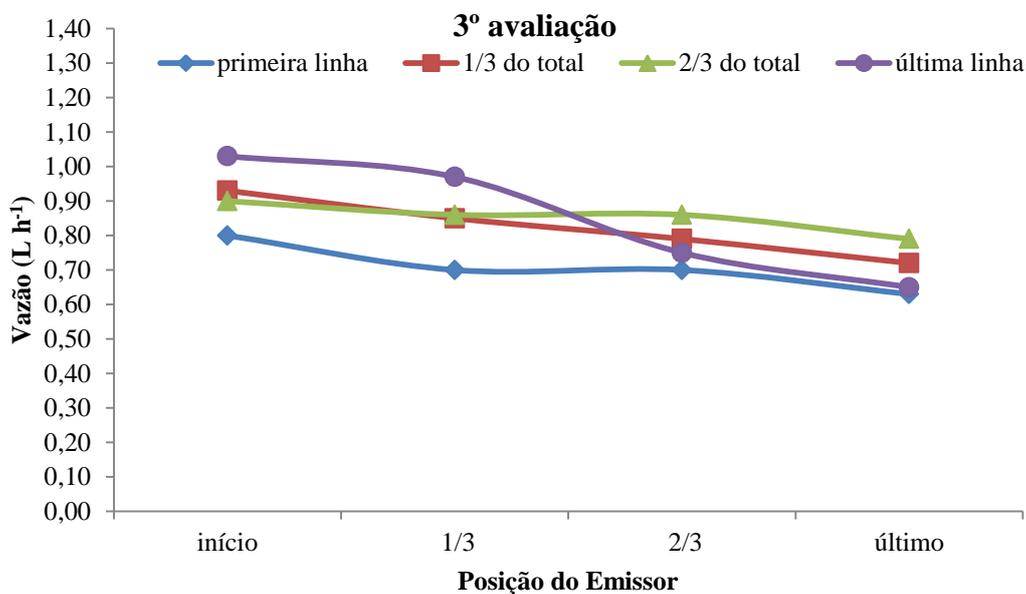
**Figura 2** - Vazão dos gotejadores ao longo das linhas laterais na avaliação inicial

Comportamento semelhante foi observado na segunda avaliação (Figura 3), sendo que apenas no último emissor da última linha foi verificada uma não padronização dos valores de vazão, o que nos permitiu inferir que nesse emissor houve problema de entupimento, uma vez que, mesmo no sentido do maior declive da área, consequentemente, maior pressão no sistema obteve menor vazão naquele ponto.



**Figura 3** - Vazão dos gotejadores ao longo das linhas laterais com 50 h de operação

Já terceira avaliação do sistema de irrigação correspondendo a 100 h de operação foi observado maior coeficiente de variação dos valores de vazão em torno de 14%, devido à formação de biofilme no gotejador, o que causa a obstrução total ou parcial dos emissores, com isso a perfeita padronização da vazão dos emissores com relação a maior pressão nos emissores localizados no início da linha, como também dos maiores valores localizados na última linha em função da declividade não foi verificado (Figura 4). Fernandes et al. (2014) e Silva et al. (2013) destacam-se os indicadores de desempenho hidráulico vazão e coeficiente de variação da vazão para a detecção dos níveis de obstrução em gotejadores que aplicam águas residuárias.



**Figura 3** - Vazão dos gotejadores ao longo linhas laterais com 100 h de operação

Dessa forma, observa-se que o tempo de exposição dos gotejadores ao efluente doméstico tratado afeta a vazão dos emissores, o que evidencia interferência no desempenho hidráulico dos gotejadores, com a formação do biofilme no interior da estrutura do gotejador.

Fernandes et al. (2014) verificaram redução de até 42% na vazão dos gotejadores utilizados na aplicação de água residuária da castanha de caju durante 160 h de operação. Já Silva et al. (2013) trabalharam com o mesmo tipo de efluente, evidenciaram aumento do coeficiente de variação de vazão, atingindo valores de até 44% na unidade gotejadora com pressão de serviço de 70 kPa, em função da formação de biofilme nos gotejadores não autocompensantes.

## CONCLUSÕES

Os coeficientes de uniformidade CUC, CUD e a eficiência de aplicação estão dentro dos níveis aceitáveis para sistemas de irrigação localizada.

O tempo de exposição dos gotejadores ao efluente doméstico tratado afeta a vazão dos emissores, conseqüentemente influencia no desempenho hidráulico do sistema de irrigação.

O entupimento dos emissores com biofilme acarretou redução da vazão e aumento do coeficiente de variação da vazão ao longo do tempo de operação.

## **AGRADECIMENTOS**

À Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - Campus Tianguá.

## **REFERÊNCIAS**

AYERS, R.S., WESTCOT, D.W.; Tradução de Gheyi H. R., Medeiros de J. F., Damasceno F.A.V., 1999. **A qualidade da água na agricultura**. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29 Revisado1). Campina Grande, Dept. de Eng. Agrícola, UFPB, 153p.

BATISTA, R. O. Influência da aplicação de esgoto sanitário tratado no desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento montado em campo. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 28, n. 2, p. 213-217, 2006.

BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, D. B. dos; OLIVEIRA, A. de F. M.; AZEVEDO, C. A. V. de; MEDEIROS, S. de 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.

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. et al. Efeito das características do esgoto doméstico na uniformidade de aplicação de sistemas de irrigação por gotejamento. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 137-144, 2011.

BARRETO FILHO, A. de A.; DANTAS NETO, J.; MATOS, J. A. de; GOMES, E. M.; Desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão, instalado a nível de campo **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.309-314, 2000.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**, 6 ed. Viçosa, MG: UFV, 1995.657 p

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8ª Ed. Viçosa, Ed. UFV, 2006, 625p.

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.

FREITAS, C. A. S.; NOGUEIRA, L. K. A.; MOREIRA, L. C. J.; FERREIRA, C. S. Desempenho hidráulico de gotejadores sob o tempo de exposição ao esgoto doméstico tratado. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 1, p. 214 – 219, jan. – mar., 2015.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 17, n. 4, p. 678-684, 1974.

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

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**, v.60, n.3, p.339- 346, 2013.

SILVA, L. P. et al. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 480–486, 2012.

SONG, P.; LI, Y.; ZHOU, B.; ZHOU, C.; ZHANG, Z.; LI, J. Controlling mechanism of chlorination on emitter bio-clogging for drip irrigation using reclaimed water. **Agricultural Water Management**, v.184, n.1, p.36-45, 2017.