

Uniformidade de aplicação de água e efluente de amidonaria em sistema de irrigação por gotejamento

MANOEL PENACHIO GONÇALVES*¹; ELIANE HERMES²; MÁRCIO ANTONIO VILAS BOAS³; JUSSARA SILVA BERGER⁴; MARCOS ARAÚJO LINS⁵; VANESSA DOS SANTOS WULF⁶

¹Graduando em Agronomia, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor Palotina, Rua Pioneiro 2153, Jardim Dallas, CEP 85950-000, Palotina/PR. E-mail: manoel.penachio@gmail.com. *Autor para correspondência

²Professora Assistente I, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor Palotina, Doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (UNIOESTE), Campus Cascavel. E-mail: eliane.hermes@ufpr.br

³Doutor em Irrigação e Drenagem, Professor Associado C, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Campus Cascavel, Rua Universitária 2069, Jardim Universitário, CEP 85819-110, Cascavel/PR. E-mail: marcio.vilasboas@unioeste.br

⁴Tecnóloga em Biotecnologia, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor Palotina. E-mail: jussaraberger@gmail.com

⁵Graduando em Tecnologia em Biocombustíveis, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor Palotina. E-mail: marbiocomb@gmail.com

⁶Graduanda em Tecnologia em Biotecnologia, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor Palotina. E-mail: Vanessa.wulf@hotmail.com

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a uniformidade de sistemas de irrigação por gotejamento com aplicação de água e de efluente de uma amidonaria proveniente de uma lagoa facultativa. Foram determinados os coeficientes de variação de vazão total (CVt) e de uniformidade de Christiansen (CUC). O trabalho foi conduzido em uma Amidonaria da Cooperativa Agroindustrial C. Vale, localizada no município de Terra Roxa/PR, sendo instalados dois sistemas de irrigação por gotejamento, cada um com 66 m², alimentados por um reservatório de 1000 L, elevado a 1,5 m, onde foram armazenadas a água (tratamento 1 – T1) e o efluente da lagoa facultativa (tratamento 2 – T2). Os sistemas foram guardados e avaliados novamente após um ano com água (tratamento 3 – T3) e o efluente da lagoa facultativa (tratamento 4 – T4), sendo realizados 30 ensaios para cada tratamento, se utilizando da metodologia de coleta das vazões de Keller & Karmeli (1975). De acordo com os valores de CVt e CUC obtidos, observou-se diferença na uniformidade de distribuição do sistema de irrigação, sendo que T1 e T2 realizados em 2012 apresentaram uma melhor uniformidade em relação aos tratamentos T3 e T4 avaliados em 2013. Na medida em que se prolongou o tempo de uso dos equipamentos, aumentou-se a possibilidade de entupimento dos emissores, influenciando negativamente na uniformidade de irrigação.

Palavras-chave: coeficiente de Christiansen, desgaste do sistema, variação de vazão.

ABSTRACT

Uniformity of application of water and cassava effluent in drip irrigation system

This study aimed to evaluate the uniformity of drip irrigation systems with application of water and cassava effluent from a facultative pond. Were determining the coefficients of variation of emitter discharge (CVq) and Christiansen uniformity (CUC). The experiment was conducted at cassava processing factory in the city of Terra Roxa/PR, were installed two systems of 66 m², fed by one tank of 1000 L situated at 1.5 m above the ground and containing water (treatment 1 - T1) and effluent from facultative pond (treatment 2 - T2). These systems were stored and tested again after one year with water (treatment 3 - T3) and effluent from facultative

pond (treatment 4 - T4), and performed thirty trials for each treatment, using the methodology of Keller & Karmeli (1975) to flow collection. According to the values of CV_q and CUC obtained, there was a difference in the distribution uniformity of the irrigation system, and that T1 and T2 performed in 2012 showed better uniformity compared to the treatments T3 and T4 collected in 2013. With the extended time of use of equipment increased the possibility of clogging of the emitters, negatively influencing in irrigation uniformity.

Keywords: Christiansen coefficient, system wear, flow variation.

INTRODUÇÃO

Com a diminuição da disponibilidade de recursos hídricos, há a necessidade do reaproveitamento de águas de qualidade inferior e com o aumento do volume de efluentes sua aplicação na agricultura é uma alternativa na irrigação, sendo que esta prática vem crescendo principalmente em países que sofrem com a falta de água doce (AL-ABSI et al., 2008; LIU & HUANG, 2009; PUIG-BARGUÉS et al., 2010).

O efluente oriundo do processamento de mandioca apresenta-se como importante fonte de nutrientes, pois dispõe de concentrações significativas de nitrogênio, fósforo e principalmente potássio, favorecendo o desenvolvimento de culturas (GAMEIRO et al., 2003).

Em uma instalação de irrigação por gotejamento praticamente não se perde água no percurso desde o ponto de abastecimento até a saída dos gotejadores. Fundamentalmente as perdas existentes ocorrem no solo molhado por percolação e em menor escala por evaporação e escoamento sobre a superfície do terreno (GOMES, 1999).

A aplicação de águas residuárias via fertirrigação é uma alternativa que leva à economia de água e nutrientes. Contudo, é necessário controlar a qualidade deste efluente devido aos efeitos negativos que este pode acarretar ao sistema de irrigação (BATISTA et al., 2005), comprometendo a uniformidade de aplicação.

Devido à preocupação dos agricultores com a produção, deve-se ter atenção especial a qualidade desta irrigação, ou seja, como a água aplicada esta sendo distribuída, sendo que a utilização de coeficientes de uniformidade é uma importante ferramenta para este controle, pois através dos valores obtidos por meio destes coeficientes é possível avaliar se o sistema de irrigação esta sendo adequadamente manejado.

A uniformidade de aplicação de água influencia na produção agrícola e na minimização de gastos com água e energia, sendo o principal fator a ser considerado. A utilização de águas inadequadas ao sistema compromete a qualidade de irrigação devido à desuniformidade de aplicação (VIEIRA et al., 2004).

Existem diversos coeficientes que monitoram essa uniformidade, avaliando a eficiência de aplicação de água, podendo-se citar o coeficiente de variação de vazão total (CV_t) descrito por SOLOMON (1979) e o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por CHRISTIANSEN (1942).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a uniformidade de sistemas de irrigação por gotejamento com aplicação de água e efluente de amidonaria proveniente de uma lagoa facultativa, durante dois anos de uso dos sistemas.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em uma área situada na Amidonaria da Cooperativa Agroindustrial C. Vale – Unidade São José, localizada na Rodovia PR 364, Km. 26, no município de Terra Roxa – Paraná.

Foram instalados dois sistemas de irrigação por gotejamento de aproximadamente 66 m², compostos por uma linha principal e sete linhas laterais de 11 m cada, espaçadas em 1 m

entre si. Os sistemas foram montados sobre a mesma área, porém foram avaliados em períodos de tempo distintos. Foi utilizado o tubo gotejador Streamline 16080, com vazão nominal de $1,49 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ (85 kPa) por gotejador. O tubo possui um gotejador a cada 0,30 m, totalizando aproximadamente 252 gotejadores em cada um dos sistemas.

Os sistemas foram alimentados por um reservatório de 1000 L, elevado a 1,5 m do chão, onde foram armazenadas a água e o efluente da amidonaria proveniente da lagoa facultativa utilizada no tratamento da mesma. Em cada um dos sistemas foi instalado um filtro de tela plástica de 1" junto ao reservatório visando um pré-tratamento dos sólidos e minimizando possíveis problemas de entupimento no sistema que comprometeriam a qualidade da irrigação.

A pressão foi controlada com a instalação de dois manômetros digitais Instrutemp ITMDP-15, com precisão de $\pm 0,3\%$ a 25° C , um no início e outro no final do sistema. A Figura 1 ilustra o *layout* do sistema de irrigação por gotejamento.

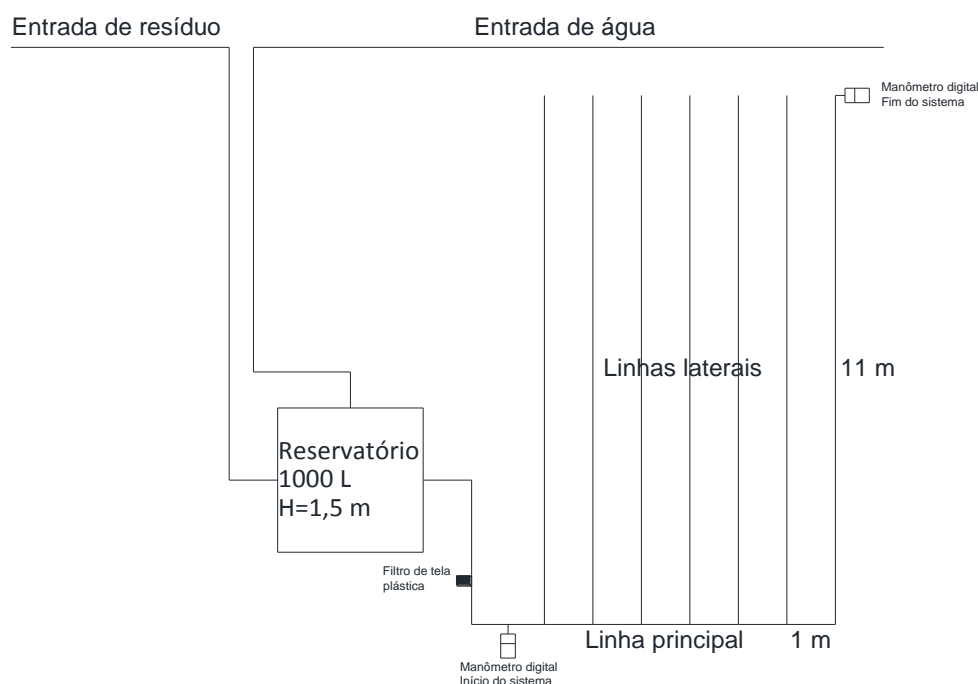


FIGURA 1 - *Layout* do sistema de irrigação por gotejamento.

Foram realizados 30 ensaios para cada tratamento, a cada 1 hora de operação, com tempo de coleta de 4 minutos para cada gotejador amostrado. A avaliação dos sistemas consistiu na coleta das vazões aplicadas, conforme a metodologia proposta por Keller & Karmeli (1975).

Após a realização dos dois tratamentos os sistemas foram guardados sendo novamente testados após um ano, objetivando-se a avaliação do desgaste dos mesmos, conforme apresentado na Tabela 1.

TABELA 1. Constituição dos tratamentos.

Tratamento	Tipo de água	Carga hidráulica (m)	Ano de coleta
T1	Água	1,5	2012
T2	Efluente lagoa facultativa	1,5	2012
T3	Água	1,5	2013
T4	Efluente lagoa facultativa	1,5	2013

Para monitoramento da qualidade da água e do efluente foram coletadas amostras no primeiro gotejador de cada sistema em todos os ensaios, considerando-se os parâmetros de temperatura, pH, condutividade elétrica e turbidez (Tabela 2).

TABELA 2. Valores médios de temperatura, pH, condutividade elétrica e turbidez da água e efluente dos tratamentos com diferentes tipos de água utilizadas na avaliação da uniformidade de aplicação em sistema de irrigação por gotejamento.

Tratamento	N	Temperatura da água (°C)	pH	CE*	Turbidez (UNT)
T1	30	30,32	7,87	0,138	1,57
T2	30	22,66	8,07	2,71	140,12
T3	30	29,66	7,52	0,140	0,55
T4	30	26,18	7,77	3,01	78,26

*Condutividade elétrica mS cm⁻¹.

A partir dos dados de vazões coletados foram calculados o coeficiente de variação total (CVt) (SOLOMON, 1979) e o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) (CHRISTIANSEN, 1942).

O coeficiente de variação da vazão total (CVt) foi calculado segundo a Equação 1.

$$CVt = \frac{\sigma_q}{q} \quad \text{Eq. (1)}$$

em que,

σ_q – desvio padrão de todas as vazões amostradas;

q – média de todas as vazões amostradas em L h⁻¹.

O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) é um dos mais utilizados, onde este adota o desvio médio absoluto como medida de dispersão, como pode ser observado na Equação 2.

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}|}{N\bar{q}} \right) \quad \text{Eq. (2)}$$

em que:

CUC – coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

q_i – vazão de cada gotejador, L. h⁻¹;

q – vazão média dos gotejadores, L. h⁻¹; e

N – número de gotejadores.

A Tabela 3 apresenta a classificação do coeficiente de variação da vazão total (CVt) e a Tabela 4 a classificação do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

TABELA 3. Classificação do coeficiente de variação de vazão total (CVt).

Uniformidade	CVt (%)
Excelente	≤ 0,03
Médio	0,05 a 0,07
Marginal	0,08 a 0,10
Ruim	0,11 a 0,14
Péssimo	> 0,15

Fonte: SOLOMON (1979).

TABELA 4. Classificação do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

Uniformidade	CUC (%)
Excelente	90 – 100
Bom	80 – 90
Razoável	70 – 80
Ruim	60 – 70
Inaceitável	< 60

Fonte: MANTOVANI (2002)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 5 apresenta a estatística descritiva dos dados de vazão (L.h⁻¹) para os quatro tratamentos aplicados.

TABELA 5. Estatística descritiva para a vazão dos gotejadores na metodologia de Keller & Karmeli (1975), nos quatro tratamentos aplicados: T1 (água, 2012); T2 (efluente, 2012); T3 (água, 2013) e T4 (efluente, 2013).

Tratamento	N	Pressão Média (kPa)	Vazão Média (L. h ⁻¹)	DP* (%)	CV** (%)	Mínimo (L. h ⁻¹)	Máximo (L. h ⁻¹)
T1	30	16,40	0,688	0,071	10,30	0,436	0,758
T2	30	16,70	0,708	0,044	6,27	0,542	0,800
T3	30	17,20	0,735	0,051	6,92	0,612	0,827
T4	30	16,10	0,674	0,062	9,26	0,497	0,792

*DP – desvio padrão; **CV – coeficiente de variação.

Todos os tratamentos obtiveram médias de pressão e vazão uniformes, isso porque a carga hidráulica aplicada foi igual para todos os tratamentos. Observa-se que há uma relação entre pressão e vazão dos tratamentos, pois o tratamento que apresentou uma média de pressão mais elevada apresentou também, uma média de vazão superior, em relação aos demais tratamentos. Através da regressão linear determinou-se a equação onde: vazão = 0,56 pressão – 0,234 com R² = 99,70%, onde a variável dependente foi a vazão (L. h⁻¹) e a variável independente foi a pressão (kPa) do sistema. Determinou-se também a correlação de Pearson de 0,998, esta classificada muito forte (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

O coeficiente de variação dá uma idéia de precisão do experimento. Tendo em vista os coeficientes de variação obtidos comumente nos ensaios agrícolas de campo, pode-se considerá-los baixos, quando inferiores a 10%; médios, quando de 10 a 20%; altos, quando de 20 a 30%; muito altos, quando superiores a 30% (PIMENTEL GOMES, 2009). Apenas o CV do T1 apresentou valor superior a 10%, ou seja, todos os demais tratamentos possuem valores de CV que classificam seus dados como homogêneos (PIMENTEL GOMES, 2009). O desvio padrão demonstrou um comportamento semelhante, com pouca variabilidade, exceto pelo T1 em que se obtiveram valores mais elevados.

As Figuras 2 e 3 ilustram a variação dos coeficientes calculados para cada um dos tratamentos, ao longo de todos os ensaios realizados.

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 (BARRETO FILHO et al., 2000).

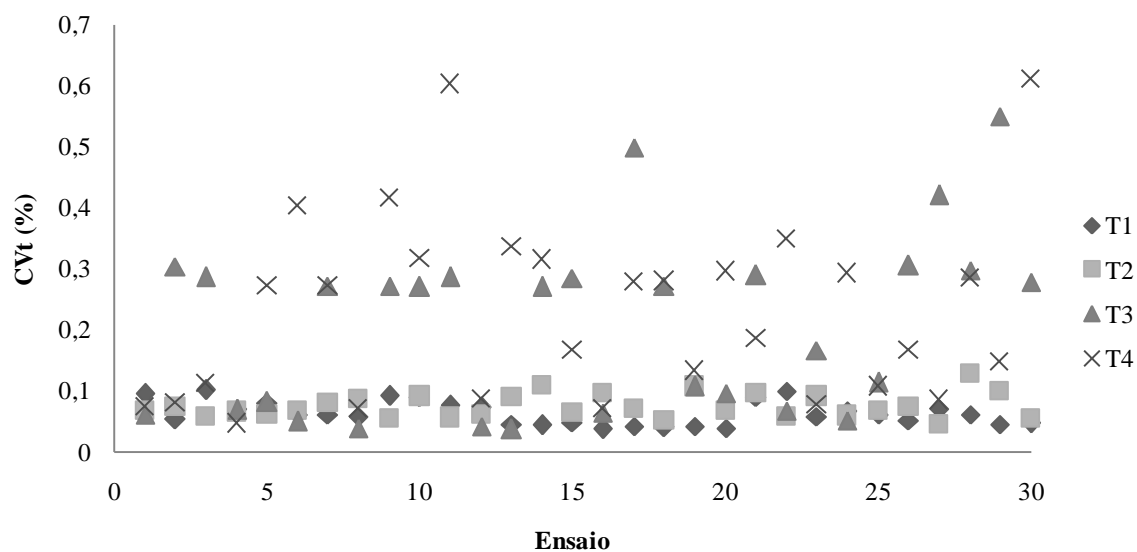


FIGURA 2 - Distribuição de CVt nos quatro tratamentos aplicados: T1 (água, 2012); T2 (efluente, 2012); T3 (água, 2013) e T4 (efluente, 2013).

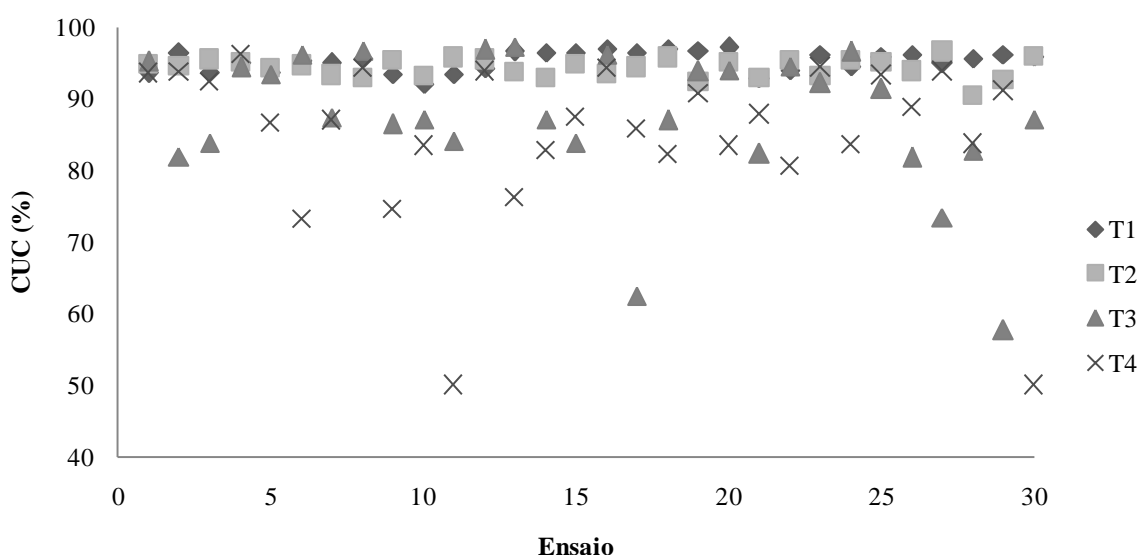


FIGURA 3 - Distribuição de CUC nos quatro tratamentos aplicados: T1 (água, 2012); T2 (efluente 2012); T3 (água, 2013) e T4 (efluente, 2013).

Nas Figuras 2 e 3, onde foram distribuídos os valores dos coeficientes CVt e CUC de todos os ensaios de cada tratamento, é possível observar que os tratamentos T1 e T2 realizados no primeiro ano de uso do sistema (2012), apresentaram uma melhor uniformidade de aplicação do sistema, em relação aos tratamentos T3 e T4, coletados no segundo ano de uso (2013). Isso porque, na medida em que se prolonga o tempo de uso dos equipamentos, aumenta-se a possibilidade de obstrução dos emissores.

Um dos fatores que influenciam na uniformidade é o tempo de uso dos equipamentos de irrigação, ou seja, além de sua vida útil; perda de carga no interior das tubulações; projetos mal dimensionados e entupimentos de emissores, em função do pequeno diâmetro de passagem dos mesmos e da qualidade da água de irrigação (KELLER & BLIESNER, 1990).

Os valores de CVt obtidos nos tratamentos T1 e T2, embora não excelentes, são em média classificados como médios, demonstrando que apenas alguns gotejadores não acompanharam a média de vazão do restante do sistema. Já nos tratamentos T3 e T4, os valores de CVt foram em média classificados como marginais, conforme proposto por Solomon (1979). Ou seja, houve mudança na uniformidade de distribuição do sistema de irrigação, na medida em que se prolongou o tempo de uso dos sistemas.

Para o coeficiente de variação total (CVt), o menor valor foi observado em T4 (efluente), chegando a um coeficiente de variação de 0,611, que é classificado como péssimo, conforme proposto por Solomon (1979). O melhor resultado foi obtido em T1 (água), com valor de apenas 0,036, o qual é considerado médio.

Em relação ao coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), o menor resultado observado foi de 50,00% em T4 (efluente), sendo considerado inaceitável, de acordo com a classificação de Mantovani (2002). O maior valor alcançado foi de 97,35% em T3 (água), no qual é considerado excelente.

As médias de CUC obtidas foram: T1 = 95,31%; T2 = 94,35%; T3 = 87,56; T4 = 85,00%. Com isso, determinou-se que os tratamentos com aplicação de água, sendo eles T1 e T3, apresentaram melhor uniformidade, quando comparados aos tratamentos com efluente, T2 e T4. Ou seja, no ano de 2012 o tratamento T1 (água), obteve uma melhor uniformidade de aplicação em relação ao tratamento T2 (efluente). E no ano de 2013, o tratamento T3 (água), também apresentou melhor média quando comparado ao tratamento T4 (efluente). Com isso, determinou-se que a utilização de água em sistemas de irrigação por gotejamento, apresenta melhor uniformidade de aplicação em relação ao uso de efluente.

Segundo a classificação de Mantovani (2002), o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), foi mais satisfatório nos tratamentos T1 e T2, acima de 90% sendo classificados como excelentes. E os tratamentos T3 e T4 apresentaram uma uniformidade inferior, entre 80 e 90% sendo classificada como bom.

Os equipamentos podem sofrer alterações dentro de um maior tempo de utilização. Em longo prazo, a característica de alto risco de entupimento do resíduo utilizado converte-se na obstrução real dos gotejadores, prejudicando a qualidade de aplicação do sistema de irrigação. Segundo Ayers & Westcot (1999), o entupimento dos gotejadores causado por sólidos em suspensão podem, também, diminuir a eficiência do sistema de irrigação, pois, partículas de areia e silte podem ser conduzidas para o interior do sistema de irrigação.

Uma das conseqüências diretas de uma baixa uniformidade de aplicação de água, em um sistema de irrigação, é o aumento do volume de água aplicado. Para que as plantas que recebem menor lâmina recebam quantidade suficiente para seu desenvolvimento, deve-se aumentar a lâmina aplicada. Isto faz com que as demais plantas recebam excesso de água, que se perderá por percolação profunda (LOPEZ et al., 1992).

A utilização de efluente de amidonaria na agricultura através da fertirrigação é uma alternativa eficiente para o reaproveitamento e descarte desse resíduo. Entretanto, para que isso se torne viável é necessário aperfeiçoar as técnicas de tratamento, aplicação e manejo de efluentes, para assim reduzir os problemas de entupimento dos sistemas de irrigação por gotejamento, ocasionados pela qualidade da água de aplicação.

CONCLUSÕES

Os tratamentos T1 (água) e T2 (efluente) realizados no ano de 2012, apresentaram melhores classificações quanto ao CVt e CUC em relação aos tratamentos T3 (água) e T4 (efluente), realizados em 2013.

Os valores de CUC obtiveram uma média acima dos 90% de uniformidade para T1 (água) e T2 (efluente), demonstrando um comportamento excelente e entre 80 e 90% para T3 (água) e T4 (efluente), sendo classificados como bom.

Na medida em que se prolongou o tempo de uso dos equipamentos, aumentou-se a possibilidade de entupimento dos emissores, influenciando negativamente na uniformidade de irrigação.

Apesar de ocasionar o entupimento de emissores, o efluente de amidonaria pode ser aplicado com eficiência em sistemas de irrigação por gotejamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-ABSI, K.M.; AL-NASIR, F.M.; MAHADEEN, A.Y. Mineral content of three olive cultivars irrigated with treated industrial wastewater. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.96, n.4, p.616-626, 2008.

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.

BARRETO FILHO, A.deA.; 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.

BATISTA, R.O.; LO MONACO, P.A.; MATOS, A.T.; CUNHA, F.F. Alteração na vazão de gotejadores tipo fita utilizados na aplicação de água residuária da despolpa de frutos do cafeeiro. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.13, n.2, p.69-73, 2005.

CALLEGARI-JACQUES, S.M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.

CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkely: University of California, Experiment Station, 1942. 124p.

GAMEIRO, A.H. CARDOSO, C.L.; BARROS, G.S.C.; ANTIQUEIRA, T.R. GUIMARÃES, V. D.A.A **indústria do amido de mandioca**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003, 90p.

GOMES, H.P. **Engenharia de Irrigação: Hidráulica dos Sistemas Pressurizados, Aspersão e Gotejamento**. 3 ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 412p.

KELLER, J.; BLIESNER, D.R. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: van Nostrand Reinhold, 1990. 652p.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing, 1975. 133p.

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.

LOPEZ, J.R.; ABREU, J.M.H.; REGALADO, A.P.; HERNADEZ, J.F.G. **Riego localizado**. 2 ed. Madrid: Centro Nacional de Tecnologia de Regadios, 1992. p.217-229.

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

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. Ed. Piracicaba: Degaspari, 2009. 477p.

PUIG-BARGUÉS, J., ARBAT, G., ELBANA, M., DURAN-ROS, M., BARRAGÁN, J., CARTAGENA, F.R., AND LAMM, F.R. Effect of flushing frequency on emitter clogging in microirrigation with effluents. **Agricultural Water Management**, v.97. p.883-891, 2010.

SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle emitters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.22, n.5, p.1034-1038, 1979.

VIEIRA, G.H.S.; MANTOVANI, E.C.; SILVA, J.G.F.; RAMOS, M.M.; SILVA, C.M.; CORDEIRO, E.A. Recuperação de gotejadores obstruídos devido à utilização de águas ferruginosas. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.1-6, 2004.