

DESEMPENHO DE GOTEJADORES COM USO DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO

Talita Aparecida Pletsch¹; Raimundo Leite Cruz¹; Helton Rogério Mazzer²; Érika Fabiana de Oliveira¹

¹*Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade estadual Paulista, Botucatu, SP, talita@fca.unesp.br*

²*Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Tecnológica Federal do Paraná, Campus de Campo Mourão, PR*

1 RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo determinar a vazão dos gotejadores, a curva relação vazão-pressão, a sua equação característica, o coeficiente de variação de vazão (CVQ), e também avaliar a uniformidade de aplicação de água, do tubo gotejador da marca Netafim, modelo Tiran 17, utilizado para a irrigação com esgoto doméstico tratado. Após 1000 horas de uso do tubo gotejador, o entupimento de gotejadores reduziu a uniformidade de aplicação de água de 98% para valores menores que 60%, e aumentou o coeficiente de variação de vazão a valores maiores que 0,29.

UNITERMOS: coeficiente de variação de fabricação, reúso de água

PLETSCH, T. A.; CRUZ, R. L.; MAZZER, H. R.; OLIVEIRA, É. F. de.
PERFORMANCE OF DRIPPERS USING TREATED DOMESTIC WASTEWATER

2 ABSTRACT

This paper aimed to determine the flow rate of drippers, their “flow rate-pressure” curve, their equation, their flow rate variation coefficient (VCq), as well as to evaluate the uniformity of water application of the Netafim drip pipe, Tiran 17 model, used for irrigation with domestic wastewater from treated household drain. After 1000 working hours, the blockage of some drippers decreased the uniformity of water application from 98% to lower than 60% and increased the flow variation coefficient to values higher than 0.29.

KEYWORDS: flow rate variation coefficient, wastewater

3 INTRODUÇÃO

Sendo a água um bem cada vez mais escasso, tanto em quantidade quanto em qualidade, a necessidade de utilizá-la com a maior eficiência possível surge, principalmente para a agricultura irrigada.

A atividade econômica que mais consome água é a irrigação de culturas agrícolas. A irrigação colabora com a crescente produção de alimentos e com o aumento de empregos. Entretanto, o manejo inadequado da irrigação pode gerar problemas como a falta de água, poluição dos solos e dos recursos hídricos. A agricultura irrigada deve integrar sistemas com tecnologias de irrigação que maximizem a eficiência de aplicação de água.

Diante da busca da otimização do uso da água na agricultura irrigada e de uma melhor rentabilidade, algumas alternativas surgiram, como a utilização de esgoto doméstico tratado, para a irrigação.

Segundo Paganini (2003), a utilização da irrigação como técnica de tratamento e disposição de efluentes foi desenvolvida para esgotos domésticos e alguns tipos de efluentes de indústrias. Um dos sistemas utilizados para a irrigação com efluentes é o de gotejamento, no qual a água é aplicada diretamente sobre a região radicular da planta, com pequenas vazões, mas com alta frequência, mantendo assim o solo úmido.

Na irrigação por gotejamento, um aspecto importante para o seu bom desempenho é que a diferença entre a vazão dos emissores seja a menor possível. A variação de fabricação do emissor é um importante fator que influencia a uniformidade de distribuição de água e, portanto, a eficiência do sistema (Solomon, 1979). Quanto menor a variação da vazão entre os emissores, maior será a uniformidade do sistema.

Uma característica importante e que deve ser mantida no sistema de irrigação por gotejamento é a sua uniformidade de aplicação. Segundo Almeida *et al.* (2006), a uniformidade possui maior importância quando o sistema de irrigação é utilizado para se fazer a fertirrigação, pois para o bom desempenho é necessário o conhecimento das características hidráulicas do emissor e uniformidade de aplicação de água do sistema de irrigação utilizado.

A uniformidade de aplicação de água, em sistemas de irrigação por gotejamento, pode ser representada por alguns coeficientes. Entre eles, estão: coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o coeficiente de uniformidade estatístico (CUE).

O objetivo do presente trabalho foi determinar a curva relação vazão-pressão, a equação característica, o coeficiente de variação de vazão (CVQ) e avaliar a uniformidade de aplicação de água utilizando o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) de um tubo gotejador da marca Netafim, modelo Tiran 17, após o seu uso com esgoto doméstico tratado.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrônomicas – Campus de Botucatu.

Para a realização do experimento, utilizou-se uma bancada de ensaios para tubos gotejadores (Figura 1), que possui um reservatório de água com capacidade de 300 litros e uma moto-bomba para pressurizar a água pelas tubulações de PVC de 1 ¼ de polegada, com um filtro de tela metálica de 200 mesh. As linhas laterais têm comprimento de 6 metros (4 linhas, com recirculação de água), 2 válvulas de saída de ar e 4 manômetros testados e aferidos antes dos ensaios. Foi utilizado para o experimento o tubo gotejador da marca Netafim, modelo Tiran 17, com vazão de 2,0 L.h⁻¹ e espaçamento entre gotejadores de 0,50 m.



Figura 1. Vista geral da bancada de ensaios para tubos gotejadores

Foi retirado um segmento contendo 25 emissores, ao acaso, de uma bobina enviada pela fábrica, para a realização dos ensaios. Foram medidas as vazões, com pressões crescentes de: 40, 50, 80, 100, 120, 150, 200, 250, 300 kPa, com quatro repetições para cada um dos 25 gotejadores, com o tempo de coleta de 10 minutos.

A coleta de dados para caracterização do tubo gotejador foi feita em frascos com capacidade de 1 litro. Após a coleta da água na saída dos gotejadores, os frascos foram pesados em balança de precisão, para determinação do volume emitido por cada gotejador, permitindo o cálculo da vazão.

Após o término do ensaio inicial com o tubo gotejador novo, foi colocado no reservatório da bancada esgoto doméstico tratado, doado pela Estação de Tratamento de esgoto da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), localizada na Fazenda Lageado, UNESP/FCA, Botucatu-SP. A Estação apresenta um sistema misto de tratamento, composto por tratamento preliminar (gradeamento, caixa de areia, calha Parshall), tanque de equalização, reatores anaeróbios de fluxo ascendentes, tanque de aeração e decantadores, e trata atualmente 230 litros por segundo do esgoto coletado no Município de Botucatu. A Estação de Tratamento de Esgoto reutiliza parte do efluente final para limpezas de desvios, passeios, após a desinfecção com cloro gás. O efluente utilizado no experimento foi o efluente final, mas sem a desinfecção com cloro gás.

O efluente foi acondicionado em 2 reservatórios de 200 litros e transportado de caminhão cedido pela FCA/UNESP, até o Laboratório de Irrigação e Drenagem. Primeiramente, enchia-se o reservatório de 300 litros da bancada de ensaio para gotejadores, e o restante do efluente era guardado em outro reservatório com capacidade de 1000 litros, próximo à bancada de ensaios. Esse processo foi repetido até o enchimento do reservatório de 1000 litros. Durante o experimento, foram necessárias 5 visitas a SABESP para a coleta do efluente.

Após o efluente ser colocado no reservatório da bancada de ensaios, a mesma permanecia funcionando por, aproximadamente, 8 horas por dia. O experimento teve duração de outubro de 2007 a março de 2008.

O tubo gotejador foi submetido a 1000 horas de trabalho, utilizando esgoto doméstico tratado. Após 500 e 1000 horas de trabalho, a vazão dos gotejadores foi medida novamente. Durante a medição de vazão, utilizava-se água tratada da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A vazão dos emissores foi medida com quatro repetições, para cada um dos 25 gotejadores, utilizando tubos novos, após 500 horas e após 1000 horas de uso com água residuária, às pressões de 40, 50, 80 100, 120, 150, 200, 250 e 300 kPa. As vazões médias, sob diferentes pressões, do tubo novo, após 500 horas e 1000 horas, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Comparativo da vazão média em L.h⁻¹ dos 25 emissores, sob diferentes pressões [novo (ensaio inicial) , 500 horas e 1000 horas]

Pressão (kPa)	novo	500 horas	1000 horas
40	1,33	1,38	1,08
50	1,59	1,58	1,22
80	1,84	1,92	1,52
100*	2,14	2,04	1,75
120	2,30	2,28	1,91
150	2,55	2,50	2,13
200	2,89	2,89	2,47
250	3,24	3,20	2,72
300	3,54	3,48	3,07

- pressão recomendada pelo fabricante
-

Durante o ensaio inicial (tubo novo), na pressão de 100 kPa (pressão recomendada pelo fabricante), a vazão média do tubo gotejador foi de 2,14 L.h⁻¹, 7% a mais da vazão informada pelo fabricante. Garcia (2006), ensaiando o mesmo tubo gotejador, Tiran 17, encontrou uma diferença de 2,5% acima da vazão informada. Pode-se notar que a diferença percentual entre a vazão fornecida pelo fabricante em relação ao valor obtido durante o experimento não excedeu os 7% de variação permitida pela norma ISO 9261(2004).

Após 500 horas de utilização do tubo gotejador, a vazão foi de 2,04 L.h⁻¹, excedendo 2% da vazão, e após 1000 horas, a vazão foi de 1,75 L.h⁻¹, ficando abaixo 12,5 % em relação à vazão informada pelo fabricante.

As comparações entre as vazões médias do ensaio inicial (tubo novo), após 500 horas, e após 1000 horas, nas pressões ensaiadas, foram feitas utilizando o Teste de Tukey, no programa SISVAR. Os seus valores são apresentados na Tabela 2:

Tabela 2. Teste de Tukey para a comparação dos valores de vazão média, do ensaio inicial (tubo novo), após 500 horas, e após 1000 horas, nas pressões de 40, 50, 80, 100, 120, 150, 200, 250, 300 kPa.

40 kPa			50 kPa	
<i>Ensaio</i>	<i>Vazão (L.h⁻¹)</i>	<i>Teste de Tukey*</i>	<i>Vazão (L.h⁻¹)</i>	<i>Teste de Tukey*</i>
inicial	1,33	a	1,59	a
500 horas	1,38	a	1,58	a
1000 horas	1,08	b	1,22	b

80 kPa			100 kPa	
<i>Ensaio</i>	<i>Vazão (L.h⁻¹)</i>	<i>Teste de Tukey*</i>	<i>Vazão (L.h⁻¹)</i>	<i>Teste de Tukey*</i>
inicial	1,84	a	2,14	a
500 horas	1,92	a	2,04	a
1000 horas	1,52	b	1,75	b

120 kPa			150 kPa	
<i>Ensaio</i>	<i>Vazão (L.h⁻¹)</i>	<i>Teste de Tukey*</i>	<i>Vazão (L.h⁻¹)</i>	<i>Teste de Tukey*</i>
inicial	2,30	a	2,55	a
500 horas	2,28	a	2,50	a
1000 horas	1,91	b	2,13	b

200 kPa			250 kPa	
<i>Ensaio</i>	<i>Vazão (L.h⁻¹)</i>	<i>Teste de Tukey*</i>	<i>Vazão (L.h⁻¹)</i>	<i>Teste de Tukey*</i>
inicial	2,89	a	3,24	a
500 horas	2,89	a	3,20	a
1000 horas	2,47	b	2,72	b

300 kPa		
<i>Ensaio</i>	<i>Vazão (L.h⁻¹)</i>	<i>Teste de Tukey*</i>
inicial	3,54	a
500 horas	3,48	a
1000 horas	3,07	b

* As médias seguidas por uma mesma letra, dentro de cada pressão, não diferem entre si estatisticamente pelo Teste de Tukey com 5% de probabilidade

Nas pressões ensaiadas a vazão média, entre os ensaios, inicial (novo) e após 500 horas, tiveram comportamentos semelhantes em todas as pressões, enquanto que o ensaio de 1000 horas se diferenciou por apresentar vazões menores e entupimento de emissores pelo uso de água residuária. As médias apresentaram diferenças significativas à 5% pelo Teste de Tukey, para o ensaio após 1000 horas de uso.

A partir da vazão e sua respectiva pressão, determinou-se a equação que relaciona a vazão com a pressão do emissor e a curva característica do tubo gotejador Netafim Tiran 17, no ensaio inicial (Figura 2), após 500 horas (Figura 3) e após 1000 horas de uso (Figura 4).

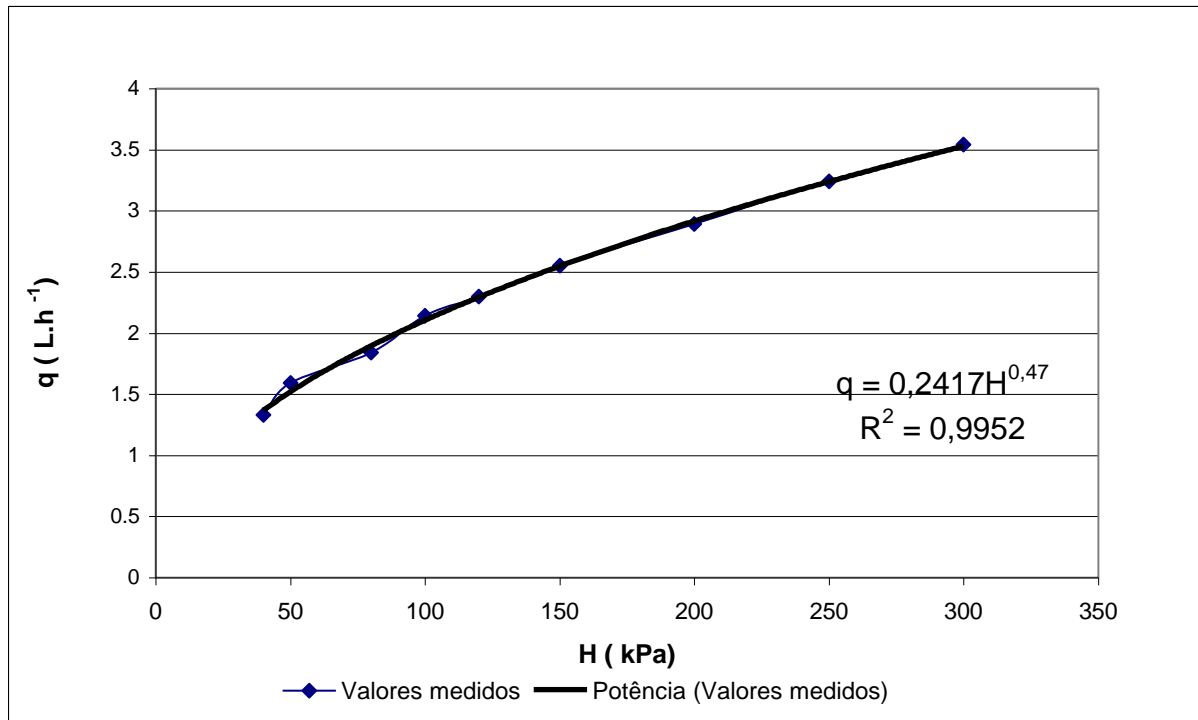


Figura 2. Representação gráfica da equação característica de vazão-pressão do tubo gotejador novo, Tiran 17

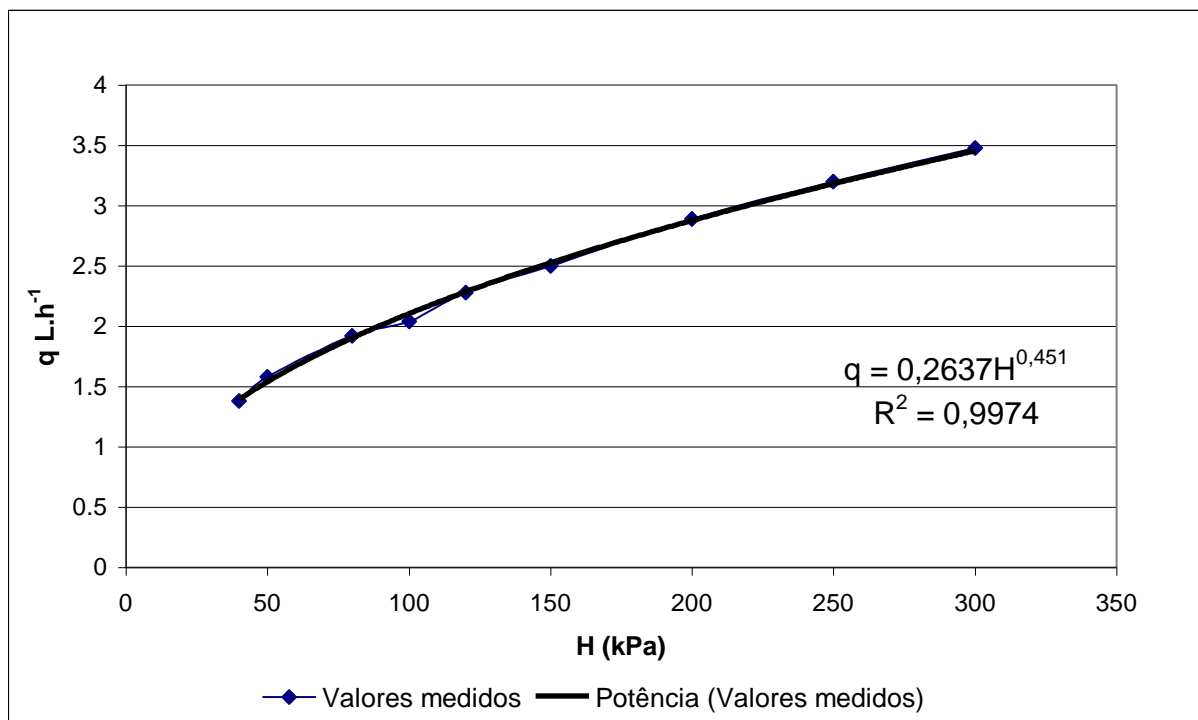


Figura 3. Representação gráfica da equação característica de vazão-pressão do tubo gotejador Tiran 17, após ser utilizado durante 500 horas

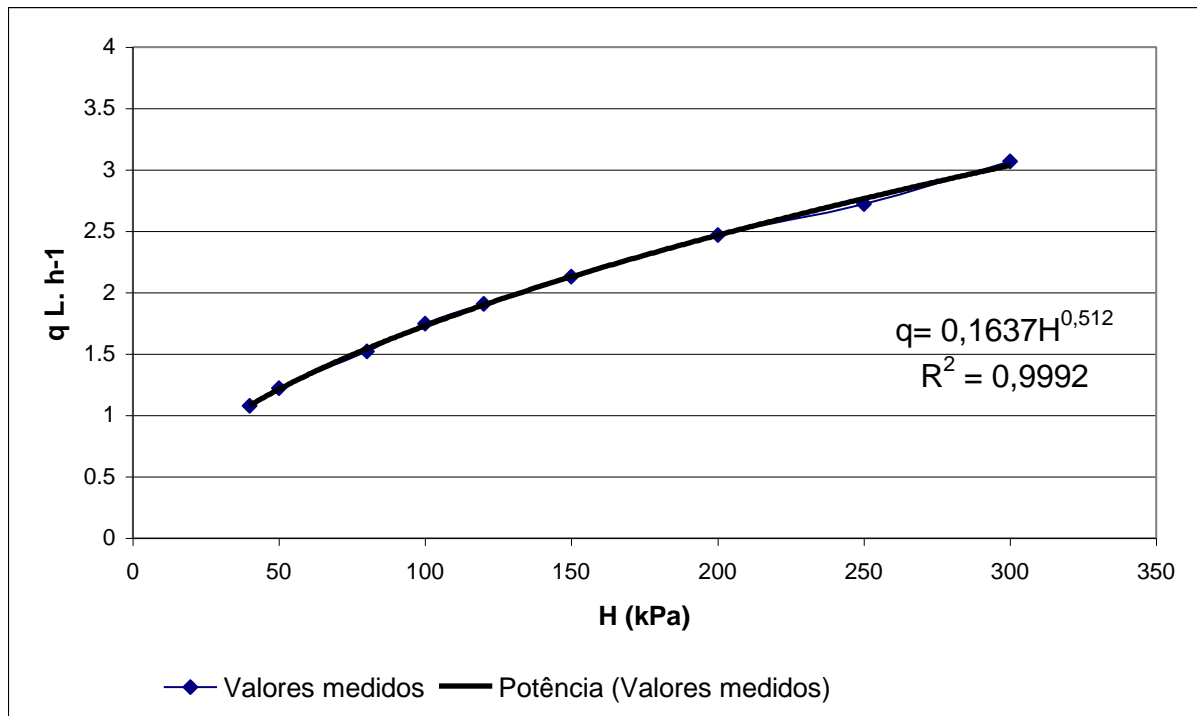


Figura 4. Representação gráfica da equação característica de vazão-pressão do tubo gotejador Tiran 17, após ser utilizado durante 1000 horas

Por análise de regressão, obteve-se a relação vazão-pressão. A Figura 2 mostra a curva característica do tubo gotejador novo, que apresenta a equação $q = 0,2417 H^{0,47}$, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,9952, com valor de expoente de descarga(x) de 0,47. Garcia (2006), em seu experimento avaliando o mesmo tubo gotejador novo, obteve a equação $q = 0,225 H^{0,48}$, com valor de expoente de descarga(x) de 0,48, valores muito próximos aos encontrados neste experimento.

O valor de $x = 0,47$ foi obtido do tubo gotejador novo o valor de $x = 0,45$ para o tubo gotejador utilizado durante 500 horas, e o valor de $x = 0,51$ para o tubo gotejador utilizado durante 1000 horas, mostrando que o regime de escoamento pode ser considerado turbulento, de acordo com Keller & Karmeli (1975).

Foi constatado que, após ser utilizado durante 1000 horas, pelo aumento do expoente “x” na equação de 0,47 para 0,51, que a variação de vazão se tornou mais influenciada pela variação de pressão.

As equações do tubo gotejador novo, após 500 horas e após 1000 horas, apresentaram coeficientes de determinação acima de 0,99, ou seja, 99% dos dados dos ensaios ajustaram-se ao modelo matemático potencial.

A partir dos dados de vazão, calculou-se a vazão média e o desvio padrão e, em seguida, determinou-se o coeficiente de variação de vazão (CVQ), dividindo-se o desvio-padrão pela média da vazão. Os valores são apresentados na Tabela 3:

Os valores variaram conforme a pressão utilizada para o ensaio. Para o tubo gotejador novo, somente a pressão 40 kPa apresentou o coeficiente de 0,02. Nas demais pressões, o coeficiente ficou em 0,01, sendo classificado como bom, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (1987) e como excelente por Solomon(1979). Garcia (2006), em seu trabalho com o tubo gotejador novo, Tiran 17, encontrou o mesmo CVQ de 0,01, na pressão de 100 kPa.

Tabela 3. Coeficiente de variação de vazão (CVQ), sob diferentes pressões [novo (ensaio inicial), 500 horas e 1000 horas]:

Pressão(kPa)	novo	500 horas	1000 horas
40	0,02	0,05	0,36
50	0,01	0,03	0,34
80	0,01	0,03	0,34
100	0,01	0,03	0,34
120	0,01	0,03	0,33
150	0,01	0,02	0,32
200	0,01	0,02	0,31
250	0,01	0,01	0,32
300	0,01	0,01	0,29

O CVQ do ensaio inicial, em todas as pressões, ficou entre 0,01 e 0,02, sendo que 0,02 somente na pressão de 40 kPa, denotando a independência da pressão usada nos ensaios.

Os coeficientes do tubo gotejador, utilizado durante 500 horas apresentaram variações de 0,01 a 0,05, conforme a pressão utilizada. Na pressão de 40 kPa, o CVQ foi de 0,05 classificado como médio pela ABNT(1987) e por Solomon (1979). As demais pressões mantiveram-se dentro da faixa de 0,01 a 0,03, que de acordo com a ABNT(1987) é classificado como bom e por Solomon (1979), como excelente.

O CVQ do tubo gotejador, após ser utilizado durante 1000 horas, foi classificado pela ABNT (1987) como inaceitável, e por Solomon (1979) como péssimo, ficando para todas pressões ensaiadas, acima de 0,15. Este aumento nos valores foi causado por 2 gotejadores que apresentaram entupimento total após serem utilizados durante 1000 horas.

Para avaliação dos efeitos na uniformidade de aplicação de água do tubo gotejador Tiran 17, após seu uso com esgoto doméstico tratado, calculou-se o coeficiente de uniformidade de distribuição(CUD), o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade estatístico (CUE). Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD %), sob diferentes pressões [novo (ensaio inicial) , 500 horas e 1000 horas]

Pressão (kPa)	novo	500 horas	1000 horas
40	98,22	95,79	52,90
50	99,03	98,86	60,23
80	98,55	97,18	61,35
100	98,93	97,65	60,79
120	98,67	97,20	63,58
150	99,03	98,22	66,03
200	98,81	98,12	67,57
250	98,83	98,65	66,26
300	98,82	98,37	70,53

Os coeficientes de uniformidade de distribuição, em todas as pressões, durante o ensaio inicial(novo), apresentaram-se acima dos 98%, sendo classificados pela American National Standards (1996) como excelentes.

Após 500 horas de uso do tubo gotejador, os coeficientes de uniformidade de distribuição, em todas as pressões apresentaram-se acima dos 95%, sendo ainda classificados pela ASAE (1996) como excelentes.

Após 1000 horas de uso do tubo, o CUD apresentou maior diferença entre as pressões. Nas pressões de 40, 50, 80 e 100 kPa, os coeficientes foram de 52,90%, 60,23%, 61,35%, 60,79% respectivamente, sendo classificados como ruins pela ASAE(1996). Nas pressões de 120, 150, 200, 250 e 300 kPa, os coeficientes de uniformidade de distribuição foram de 63,58%, 66,03%, 67,57%, 66,26%, 70, 53% respectivamente, sendo classificados como razoáveis pela ASAE(1996).

Os valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen, encontrados nos ensaios, são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC %), sob diferentes pressões [novo (ensaio inicial), 500 horas e 1000 horas]

Pressões(kPa)	novo	500 horas	1000 horas
40	98,92	97,46	74,26
50	99,12	98,21	77,40
80	99,09	98,44	77,89
100	99,26	98,73	77,56
120	99,14	98,31	79,26
150	99,27	98,95	80,48
200	99,14	98,85	81,46
250	99,18	99,07	81,02
300	99,18	98,97	83,12

O CUC do ensaio inicial, em todas as pressões, ficou acima dos 98%, sendo classificado como excelente por Mantovani (2002). Após 500 horas de trabalho, os coeficientes, em todas as pressões, ficaram acima de 97%, também classificados como excelentes.

Após 1000 horas de trabalho, o CUC nas pressões de 40, 50, 80,100,120 kPa foram de 74,26%, 77,40%, 77,89%, 77,56%, 79,26%, respectivamente, sendo classificados por Mantovani (2002) como razoáveis. Os coeficientes nas pressões de 150, 200, 250, 300 kPa, foram de 80,48%, 81,46%, 81,02%, 83,12 %, respectivamente, sendo classificados como bons.

Pode-se observar que os maiores coeficientes, após 1000 horas de uso, foram obtidos nas pressões acima de 100 kPa (pressão recomendada pelo fabricante).

Verificou-se, também, que os valores de CUC ficaram acima dos valores do CUD. Reis *et al.*, (2005) verificaram a uniformidade de projetos de irrigação localizada no terço inferior da bacia do Rio Itapemirim (ES), encontrando também valores mais altos para o CUC. Gonçalves *et al.*(2006), avaliando a uniformidade de aplicação de água residuária de suinocultura por gotejamento, obtiveram menores valores para o CUD. De acordo com Lopes *et al.* (1992), isso ocorre por que o CUD dá um tratamento mais rigoroso aos problemas de distribuição que ocorrem ao longo da linha lateral.

Os valores do coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) calculados, nos ensaios, são apresentados na Tabela 6.

O CUE do ensaio inicial, em todas as pressões, ficou acima dos 98% sendo classificado como excelente. Após 500 horas de utilização, o CUE, em todas as pressões, ficou acima dos 95%, classificado como excelente.

Tabela 6. Coeficiente de uniformidade estatístico (CUE %), sob diferentes pressões [novo (ensaio inicial) , 500 horas e 1000 horas]

Pressão (kPa)	novo	500 horas	1000 horas
40	98,29	95,49	63,94
50	98,75	96,68	65,88
80	98,75	97,34	66,44
100	98,96	97,54	65,78
120	98,79	97,18	67,38
150	99,07	98,24	68,24
200	98,89	98,21	68,68
250	98,90	98,80	68,15
300	98,89	98,56	70,85

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos durante o experimento, conclui-se que:

- Após 1000 horas de uso do tubo gotejador, o entupimento de gotejadores reduziu a sua uniformidade de aplicação de água de 98% para valores menores que 60 %, e aumentou o coeficiente de variação de vazão a valores maiores que 0,29.
- Após 1000 horas de uso, a uniformidade de aplicação de água, apresentou maiores valores na pressão de 300 kPa.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. M; SAMPAIO, S. C; SUSZEK, M. Comportamento hidráulico de gotejadores em linha lateral de irrigação, **Revista Varia Scientia**, Cascavel ,v. 6, n. 11, p. 129-140, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR**: emissores para sistema de irrigação localizada: avaliação de características operacionais – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987. 6 p.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS. **ASAE EP 458**: field evaluation of microirrigation systems. St Joseph, 2000. p. 879.

GARCIA, C. J. B. **Avaliação técnica de tubos emissores para irrigação localizada**. 2006. 59 p. Tese (Agronomia /Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônomicas-UNESP, Botucatu, 2006.

GONÇALVES, R. A. B. *et al.* Diagnóstico da aplicação de águas residuárias da suinocultura na cafeicultura irrigada II Avaliação da uniformidade de aplicação de água. **Irriga** , Botucatu, v. 11, n. 3, p. 402-414, jul./set. 2006.

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

LOPEZ, J. R. *et al* . **Riego localizado**. 2. ed. Madrid: Centro Nacional de Tecnologia de Regadios, 1992. 229 p.

MANTOVANI, E. C. **Avalia**: manual do usuário. Viçosa, EMBRAPA, 2002. 100 p.

PAGANINI, W. Reuso de água na agricultura. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F.(Eds). **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. p. 37-97.

REIS, E. F. Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 74-81, Abr. /Jun. 2005.

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