



CONTROLE DE QUALIDADE DA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO COM ESGOTO DOMÉSTICO POR MEIO DE GRÁFICOS CUSUM

F. D. Szekut¹, C. A. V. Azevedo², M. A. Vilas Boas³, M. D. Ribeiro⁴, M. R. Klein⁵,
T. Zuculotto⁶

RESUMO: Um conceito vindo das indústrias e aplicado na engenharia de irrigação é o uso da estatística de controle de qualidade para monitorar o funcionamento e a qualidade da irrigação temporal. Objetivou-se monitorar a utilização de esgoto doméstico tratado em gotejadores do tipo labirinto, com gráficos de controle de qualidade das somas acumuladas, Cusum. Foi utilizado um modelo de gotejador in line do tipo labirinto submetido a 1188 h de funcionamento com esgoto doméstico tratado. A cada 36 h os gotejadores do sistema foram submetidos à coleta de vazões em diversos pontos, posteriormente foram calculados os coeficientes de uniformidade de aplicação e realizado a construção do gráfico Cusum. A partir da amostra dezessete que ocorre a 576 h de funcionamento, a soma acumulada dos desvios saíram dos limites de controle, indicando que neste tempo de funcionamento a irrigação com esgoto doméstico tratado não está sob controle estatístico, e sugere aplicação de processos para minimizar as fontes de variabilidade incidente. A redução da vazão alvo realizada pela obstrução do sistema na amostra dezessete foi de 8,30%. O gráfico Cusum é uma forma de monitoramento das condições hidráulicas de aplicação na irrigação por gotejamento.

PALAVRAS-CHAVE: Cusum, qualidade de irrigação, uniformidade de aplicação.

QUALITY OF IRRIGATION BY DRIPPING WITH DOMESTIC SEWAGE TREATED THROUGH CUSUM GRAPHICS

ABSTRACT: A concept coming from industries and applied in irrigation engineering is the use of quality control statistics to monitor the operation and quality of temporal irrigation. The objective of this study was to monitor the use of treated domestic sewage in labyrinth drippers,

¹ Mestre, Doutorando COPEAG/UFMG, Professor do curso de agronomia Unisep, CEP: 85660-000, Dois Vizinhos – Paraná, Fone: (45) 998591226, flaviodanielszekut@gmail.com

² Doutor, Professor UFPA Campina Grande - PB, cvieiradeazevedo@gmail.com

³ Doutor, Professor UNIOESTE, marcio.vilasboas@unioeste.br

⁴ Doutor, Professor UFPR, Jandaia do Sul – PR, ribeiro.md@gmail.com

⁵ Doutor, Professor Faculdade La Salle, Lucas do Rio Verde – MT, engmarcioklein@gmail.com

⁶ Engenheiro Agrícola, mestrando PGEAGRI/UNIOESTE, Cascavel – PR, zuculotto@gmail.com

with quality control graphs of accumulated sums, Cusum. A labyrinth - type in - line dripper model submitted to 1188 h operation with treated domestic sewage was used. Every 36 h the system drippers were submitted to the collection of flow rates at various points, then the application uniformity coefficients were calculated and the construction of the Cusum graph was performed. From the sample seventeen that occurs at 576 h of operation, the cumulative sum of the deviations left the control limits, indicating that at this time of operation the irrigation with treated domestic sewage is not under statistical control, and suggests the application of processes to minimize the Sources of incident variability. The reduction of the target flow achieved by the obstruction of the system in sample seventeen was 8.30%. The Cusum graph is a way of monitoring the hydraulic conditions of application in drip irrigation.

KEYWORDS: Cusum, irrigation quality, application uniformity

INTRODUÇÃO

Em uma crescente utilização da água para a produção de alimento, a necessidade hídrica dos centros urbanos e das indústrias, aliado as exigências ambientais cada vez mais rigorosas, tem a necessidade do manejo da agricultura irrigada e a melhoria da eficiência dos sistemas de irrigação (Christofidis, 2013).

O monitoramento de sistemas é essencial para um bom funcionamento, manejo, maior eficiência de distribuição e manutenção, principalmente quando são utilizados sistemas por gotejamento, por possuir orifícios e tubulações reduzidas de distribuição. Para este monitoramento são utilizados de forma geral os coeficientes de uniformidade de distribuição (Cunha et al., 2014).

A cada dia se utiliza mais águas residuárias como alternativa de fonte hídrica, dentre os motivos destaca-se: escassez de água com boa qualidade, rendimento das culturas e o aumento de nutrientes no solo (Singh et al., 2012), diminuição de água residual no meio ambiente visto por Alobaidy et al. (2010) e diminuir poluição subterrânea (Muyen et al., 2011).

Para a utilização de águas com qualidade físico-química e biológica inferior ao indicado para sistemas de irrigação, é necessário um monitoramento ainda mais preciso e com maior periodicidade, para que não tenha problemas de entupimento e desgaste excessivo dos materiais. Para isto a estatística de controle de qualidade atua como uma ferramenta de alta performance no diagnóstico de fontes de variabilidade em sistemas de irrigação por gotejamento (Klein et al., 2015).

A estatística de controle de qualidade já muito utilizada para identificar variações em sistemas de irrigação por gotejamento, juntamente com aplicação de águas de qualidade inferior. Com águas residuárias Juchen et al. (2013) e Hermes et al. (2013) indicaram que a metodologia de controle de qualidade é adequado para avaliar a qualidade do processo.

O gráfico de controle de somas acumuladas Cusum pode ser utilizado para melhorar a percepção de qualquer variabilidade que podem atuar no funcionamento de sistemas de irrigação. Segundo Montgomery (2009) este tipo de gráfico pode ser utilizado para pequenas mudanças no processo e que não foi identificado por outros gráficos de controle de qualidade.

Tendo em vista a utilização crescente do controle de qualidade em sistemas de irrigação por gotejamento e os benefícios deste monitoramento detalhado, a pesquisa tem como objetivo identificar o tempo que o sistema mantém a qualidade da irrigação submetida à utilização de esgoto doméstico tratado.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Instituto Nacional do Semiárido (INSA), localizado no município de Campina Grande – PB, com coordenadas geográficas 7° 16' 20'' S e 35° 56' 29'' O e altitude de 550 m. A Classificação de Koeppen para o clima da região, é tropical, com chuvas de outono e períodos de seca no restante do ano, denominado *As*. Durante o experimento não teve precipitação pluviométrica.

Para a obtenção dos dados foi instalado um modelo de tubo gotejador do tipo labirinto utilizado no Semiárido Brasileiro com cinco repetições (linhas laterais). O modelo escolhido tem vazão nominal de 1,60 L h⁻¹ a pressão de 100 kPa, com espaçamento entre emissores de 0,30 m. O tubo gotejador foi instalado em bancada de testes a campo, para que incida as condições ambientais local.

A bancada de testes possui 10,00 m de comprimento com calhas de retorno para um sistema de armazenagem; sistema composto por um cabeçal de controle com filtro de disco 120 mesh da marca IRRITEC® modelo FLD, registro de abertura, hidrômetro da marca LAO® modelo UJB1 com vazão nominal de 1.5 m³ h⁻¹, manômetro de glicerina do tipo tubo de Bourdon da marca GE® e controlador de pressão de ação direta da marca BERMAD® modelo 0075 PRVy para manter pressão constante em 100 kPa.

O esgoto doméstico tratado utilizado na experimentação, advém de uma estação de tratamento de esgoto anaeróbia em operação com o esgoto produzido no Instituto Nacional do Semiárido. A Tabela 1 mostra as características físico-química e biológica do esgoto utilizado.

Tabela 1. Constituintes físico-química e biológica do esgoto tratado

Parâmetros Físico químico	Água residuária
Condutividade Elétrica (mmho cm ⁻¹ a 25°C)	2139,0
pH	7,6
Alumínio (mg L ⁻¹)	0,09
Cálcio (mg L ⁻¹)	48,0
Sódio (mg L ⁻¹)	234,7
Magnésio (mg L ⁻¹)	37,2
Potássio (mg L ⁻¹)	60,6
Ferro Total (mg L ⁻¹)	0,08
Cloreto (mg L ⁻¹)	388,7
Sílica (mg L ⁻¹)	6,2
Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C (mg L ⁻¹)	1160,0
Parâmetros Biológicos	
Coliformes Totais (UFC)	10112,0

Os dados de vazão foram obtidos em gotejadores escolhidos ao longo das linhas laterais segundo a metodologia de Keller e Karmeli (1975). As avaliações consistiram em obter o volume de água por 4 min; com a relação entre o volume coletado e o tempo gasto obteve-se a vazão de cada gotejador. A partir da primeira caracterização as avaliações foram realizadas a cada 36 h de funcionamento, obtendo trinta e três avaliações ao final do experimento de 1188h.

Com a vazão média obtida em cada avaliação foi construído o gráfico de controle das somas acumuladas. Segundo Montgomery (2009) o Cusum trabalha acumulando desvios que estão à cima ou a baixo do alvo através da Eq. 01 e 02. Os valores iniciais de C_0^+ e C_0^- é igual a 0.

$$C_i^+ = \text{máx}[0, x_i - (\bar{x} + k) + C_{i-1}^+] \quad \text{Eq. 01}$$

$$C_i^- = \text{máx}[0, (\bar{x} + k) - x_i + C_{i-1}^-] \quad \text{Eq. 02}$$

Em que:

x_i – valor de vazão de cada avaliação, L h⁻¹;

\bar{x} - Valor médio ou alvo, L h⁻¹;

k – Valor de referência ou de tolerância

Para o cálculo do valor de referência é necessário o cálculo da Eq. 03.

$$k = \frac{x_1 - x_0}{2} \quad \text{Eq. 03}$$

Em que:

x_0 – valor de vazão alvo ou pretendida, L h⁻¹;

x_1 – valor de vazão média fora de controle, L h⁻¹;

Para a construção do gráfico Cusum foi utilizado como vazão alvo de $1,45 \text{ L h}^{-1}$, que corresponde a primeira avaliação do sistema quando novo. Os limites de controle para os desvio é o determinado pela ABNT/NBR ISO 9261:2006: a vazão não deve divergir da vazão nominal por mais que 7%. Os dados foram analisados com o software Minitab 16.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Á água utilizada possui valores com risco intermediário de entupimento segundo Nakayama et al. (2006), para coliformes totais e sólidos dissolvidos, os demais elementos não tem risco baixo de causar obstrução nos gotejadores.

A Figura 1 mostra o gráfico cusum referente ao alvo proposto de $1,45 \text{ l.h}^{-1}$, da primeira avaliação do sistema novo e com as demais avaliações no tempo de funcionamento de 1188 h.

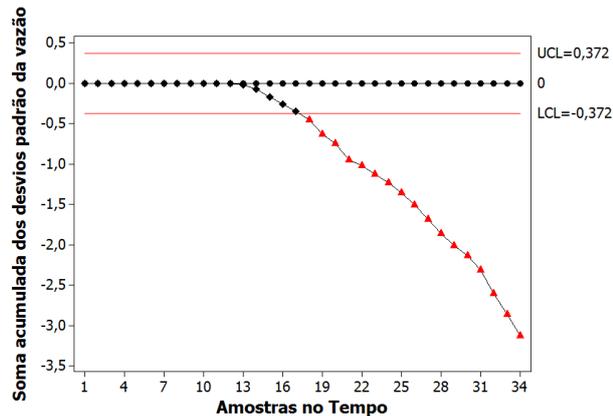


Figura 1. Gráfico Cusum para a vazão dos gotejadores no tempo de funcionamento com esgoto doméstico tratado

As duas linhas indicam o limite inferior de controle estatístico (LCL) e superior de controle (UCL). Na amostra dezessete, 576 h de funcionamento, a soma acumulada dos desvios saíram dos limites de controle que são calculados a partir do coeficiente de variação estabelecido de 7%, indicando que neste tempo de funcionamento o processo da irrigação por gotejamento com esgoto doméstico tratado não está em controle estatístico de qualidade.

Neste tempo de funcionamento a redução de vazão dos gotejadores foi de 8,30% em relação a vazão alvo, adquirida com o gotejador novo.

Ao detectar a mudança na qualidade do processo pelo limite inferior de controle, o gráfico cusum mostra a soma acumulada dos devios que estão a baixo do valor alvo. Com isto, é caracterizado as interferências nas vazões dos gotejadores pelo entupimento, causado pela qualidade da água e arquitetura interna do labirinto do emissor.

Para este gotejador, o gráfico cusum indica que a partir do tempo de funcionamento de 576 h deve-se aplicar algum produto ou processo de desobstrução para que o sistema volte a ter qualidade no processo de irrigação com esgoto doméstico.

Com a utilização de gráficos de controle de Sherwart, Hermes et al. (2015) observaram pontos fora do controle com a utilização de efluente do processamento de mandioca no tempo de 555 h, porém, com água limpa não houve pontos fora do controle estatístico nesse tempo.

A formação do biofilme pode ser a causa da variabilidade obtida no tempo de funcionamento. Para Yan et al. (2010) o início da formação e a adesão do biofilme é em 96 h de funcionamento e desempenha o processo de indução ao entupimento.

Em gotejadores do tipo labirinto há regiões de baixa velocidade de fluxo o que pode permitir o acúmulo de materiais e a proliferação de colônias bacterianas. Gotejadores com maior comprimento de labirinto foram os mais suscetíveis ao entupimento quando da aplicação de esgoto sanitário tratado (Batista et al., 2008). Ribeiro et al. (2012) identificaram que a arquitetura interna dos gotejadores foi o fator determinante no entupimento.

Em relação ao gráfico Cusum Walter et al. (2013) comprovam que é possível indicar alterações no processo de menor magnitude e desta forma antecipar a detecção em comparação com os gráficos de Sherwart. Esta antecipação permite interferir na proliferação de colônias bacterianas e conseqüentemente o biofilme, diminuindo a o entupimento e a variabilidade das vazões dos gotejadores.

É necessário mais estudos em relação aos gráficos de controle de qualidade como ferramenta para identificar obstrução em sistemas de irrigação sendo utilizados com águas de qualidade inferior.

CONCLUSÃO

A partir de 576 h de funcionamento do gotejador in line do tipo labirinto, submetido a irrigação com esgoto domestico tratado, a soma acumulada dos desvios saíram dos limites de controle, indicando que neste tempo a irrigação não está sob controle estatístico, o que sugere aplicação de processos para minimizar as fontes de variabilidade que diminuíram em 8,30 % da vazão.. O gráfico Cusum é uma forma de monitoramento das condições hidráulicas de aplicação na irrigação por gotejamento.

AGRADECIMENTOS

O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo apoio financeiro e execução do projeto nº. 94/2013 MEC/SETEC/CNPq; Ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA); Universidade Federal de Campina Grande.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Equipamentos de irrigação agrícola – Emissores e tubos emissores – Especificações e métodos de ensaio. São Paulo, p. 9, 2006.

ALOBAILY, H. M. J.; AL-SAMERAIY, M. A.; KADHEM, A. J.; MAJEED, A. A. Evaluation of Treated Municipal Wastewater Quality for Irrigation. *Journal of Environmental Protection*, v.1, p.216-225. 2010.

BATISTA R. O.; SOARES A. A.; SOUZA J. A. R.; BATISTA R. O. Modelos empíricos da irrigação localizada com esgoto sanitário tratado, *Engenharia na Agricultura*, v,16, n,3, 369-377, 2008.

CHRISTOFIDIS, DEMETRIOS. Água, irrigação e agropecuária sustentável. *Revista de Política Agrícola*. Brasília, v. 22, n.1, 2013.

CUNHA, F. N.; FURTADO DA SILVA, N.; TEIXEIRA, M. B.; CARVALHO, J. J.; MOURA, L. M. F., MELO S. R. P. Uniformidade de aplicação de fertilizantes sob um sistema de gotejamento subsuperficial. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.8, n. 5, p.343-353, 2014.

HERMES, E.; VILAS BOAS, M. A.; GOMES, S. D.; GOMES, B. M.; REIS, C. F. Quality control in irrigation and fertigation with cassava processing wastewater into drip system. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, v.11, n. 2, p. 841-845, 2013.

HERMES, E.; VILAS BOAS, M. A.; RODRIGUES, L. N.; MELO, E. L.; GONÇALVES, M. P.; LINS, M. A.; BERGER, J. S. Process capacity index in drip irrigation with cassava wastewater processing. *African Journal of Agricultural Research*, v.10, n. 12, p. 1427 – 1433, 2015.

JUCHEN, C. R.; SUSZEK, F. L.; BOAS M. A. V. Irrigação por gotejamento para produção de alface fertirrigada com águas residuárias agroindustriais. *Irriga*, v. 18, n. 1, p. 243 - 256, 2013.

KELLER, J.; KARMELI, D. *Trickle irrigation design*. S.1: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133 p.

KLEIN, M. R.; VILAS BOAS, M. A.; SUSZEK, F. L.; SZEKUT, F. D.; MELLO, E. L.; GOMES, B. M.; SILVA, B. B.; ZUCULOTTO, T. Fertigation quality with drip irrigation system in grape orchard by using the process capability index. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, v.13, n. 2, p. 179 – 183, 2015.

MONTGOMERY, D. C. *Introdução ao controle estatístico da qualidade*. Tradução: Farias, A. M. L., Flores, V. R. L. F., Laurencel, L. C. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2009.

MUYEN, Z.; MOORE, G. A.; WRIGLEY, R. J. Soil salinity and sodicity effects of wastewater irrigation in South East Australia. *Agricultural Water Management*. v 99, n 1, p 33-41, 2011.

NAKAYAMA, F. S., BOMAN, B. J. AND PITTS, D. MAINTENANCE. In: Lamm, F. R., Ayars, J. E. and Nakayama, F. S. (Ed.). 2006. *Microirrigation for crop production: Design, Operation, and Management*. Amsterdam: Elsevier, p. 389 – 430.

RIBEIRO P. A. A.; TEIXEIRA M. B.; COELHO R. D.; FRANCO E. M.; SILVA N. F.; CARVALHO L. C. C.; ALVES M. E. B. Gotejadores submetidos a condições críticas de qualidade da água. *Irriga, Edição Especial*, p. 368 - 379, 2012.

SINGH, P. K.; DESHBHRATAR, P. B.; RAMTEKE, D. S. Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. *Agricultural Water Management*, v.103, p.100–104, 2012.

Walter O. M. F. C.; Henning E.; Cardoso M. E.; Samohyl R. W. Aplicação individual e combinada dos gráficos de controle Shewhart e CUSUM: uma aplicação no setor metal mecânico. *Gestão & Produção*, v. 20, n. 2, p. 271-286, 2013.

YAN D., BAI Z., MIKE R., GU L., REN S., YANG P. Biofilm structure and its influence on clogging in drip irrigation emitters distributing reclaimed wastewater, *Journal of Environmental Sciences*, v. 21, p.834–841, 2010.