

CONTROLE ESTATÍSTICO APLICADO A UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO EM UNIDADES GOTEJADORAS OPERANDO COM ÁGUA RESIDUÁRIA

**ABEL HENRIQUE SANTOS GOMES¹; MAYRA GISLAYNE MELO DE LIMA²;
DENISE DE JESUS LEMOS FERREIRA³; GLEYKA NÓBREGA VASCONCELOS⁴;
JUAREZ PAZ PEDROZA⁵ E VERA LÚCIA ANTUNES DE LIMA⁶**

¹ *Doutor em Engenharia Agrícola: Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário, 58428-830, Campina Grande, Paraíba, Brasil, e-mail: abel_henrique@yahoo.com.br.*

² *Doutoranda em Engenharia Agrícola: Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário, 58428-830, Campina Grande, Paraíba, Brasil, e-mail: mayramelo.ufcg@live.com.*

³ *Professora doutora EBTT na área de Engenharia Agrícola: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – Campus Xique-Xique, Rodovia BA 052, Km 468, s/n – Zona Rural, CEP: 47.400-000, Xique-Xique, Bahia, Brasil, e-mail: djlf_deni@yahoo.com.br.*

⁴ *Mestranda em Engenharia Agrícola: Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário, 58428-830, Campina Grande, Paraíba, Brasil, e-mail: gleykanobrega@live.com.*

⁵ *Professor doutor: Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário, 58428-830, Campina Grande, Paraíba, Brasil, e-mail: juarez.pedroza2016@gmail.com.*

⁶ *Professora doutora: Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário, 58428-830, Campina Grande, Paraíba, Brasil, e-mail: antuneslia@gmail.com.*

1 RESUMO

A ferramenta de controle estatístico de qualidade, desenvolvida para o setor industrial, ganhou espaço na agricultura como auxílio ao manejo adequado da irrigação. Objetivou-se com este projeto, através do auxílio do controle estatístico de qualidade, avaliar a uniformidade de distribuição de água em unidades de irrigação por gotejamento abastecidas por águas residuárias. O experimento foi conduzido em ambiente controlado pertencente ao Laboratório de Irrigação e Drenagem, da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande. Foram avaliados dois tipos de linhas laterais constituídas de gotejadores específicos, submetidos a fontes de água distintas, totalizando 31 ensaios. A maioria dos valores por ensaio situou-se dentro dos limites de controle, entretanto os valores de vazão não atingiram o valor de catálogo do fabricante para ambos modelos de fitas gotejadoras. Os dois modelos distintos de emissores funcionaram durante grande parte do período de estudo dentro dos limites de controle. A ferramenta de controle estatístico de qualidade se mostrou viável e imprescindível, possibilitando o uso eficiente das unidades de irrigação.

Palavras-chave: Irrigação, controle de qualidade, reúso de água.

GOMES, A. H. S.; LIMA, M. G. M. DE; FERREIRA, D. DE J. L.; VASCONCELOS, G. N.; PEDROZA, J. P.; LIMA, V. L. A. DE
STATISTICAL CONTROL APPLIED TO DISTRIBUTION UNIFORMITY IN DRIPPING UNITS OPERATING WITH WASTE WATER

2 ABSTRACT

The statistical quality control tool, developed for the industrial sector, gained space in agriculture as an aid in the proper management of irrigation. The aim of the project was to assess, through the aid of statistical quality control, the uniformity of water distribution in drip irrigation units supplied by wastewater. The experiment was conducted in a controlled environment belonging to the Irrigation and Drainage Laboratory, of the Agricultural Engineering Academic Unit, Federal University of Campina Grande. Two types of lateral lines constituted of specific grippers were evaluated, submitted to different water sources, totaling 31 tests. Most of the values per test were within the control limits, however the flow values did not reach the manufacturer's catalog value for both drip strip models. The two models of emitters functioned during much of the study period within the control limits, the statistical quality control tool proved to be viable and essential, enabling the efficient use of the irrigation units.

Keywords: Irrigation, quality control, water reuse.

3 INTRODUÇÃO

A irrigação é uma tecnologia que vem ao longo do tempo incorporando diversas áreas de conhecimento para aprimorar uma previsão sobre o aperfeiçoamento do seu funcionamento hidráulico. Nesse contexto, o controle estatístico de qualidade (CEQ) vem ganhando destaque na produção agrícola. O grande diferencial do CEQ é que o mesmo foi desenvolvido para avaliar a variabilidade ao longo do tempo (ciclo) do processo por vários ensaios (MONTGOMERY, 2013).

Além da otimização do recurso natural (água), o reúso de água na agricultura vem sendo estudado ao longo dos anos com a possibilidade de minimizar o uso de fertilizantes químicos, gerando assim, economia nos sistemas produtivos dotados de sistemas de irrigação (FERREIRA, 2015).

A equalização dos sistemas de irrigação ao reúso de água significa viabilidade econômica para o produtor rural, visto que a aplicação do CEQ promoverá ao produtor rural o norteamento para realização de manutenções preventivas no seu sistema de irrigação, assim como o uso da água residuária na agricultura resultará em

liberação da água potável para os fins a que ela é indispensável, conseqüentemente, contribuindo para a sustentabilidade da atividade agrícola.

Apesar da suscetibilidade ao entupimento de emissores nos sistemas de irrigação quando submetidos ao reúso de água (LIU & HUANG, 2009), estudos como os realizados por Souza et al. (2011) e Ferreira (2015) confirmam viabilidade na irrigação associada ao reúso de água pela eficiência de aplicação dos efluentes e por minimizar os riscos de contaminação, desde que haja monitoramento e controle durante o processo de irrigação. Segundo Cunha et al. (2013), a suscetibilidade ao entupimento se deve ao fato de seus emissores possuírem labirintos e orifícios de passagem de água muito pequenos.

Dentre os parâmetros utilizados para caracterizar a eficiência dos sistemas de irrigação, destacam-se a vazão e o coeficiente de uniformidade (CUD) (BRALTS & KESNER, 1983; KELLER & KARMELI, 1974; CHRISTIANSEN, 1942).

Diante do exposto, o projeto teve por objetivo avaliar através do auxílio do controle estatístico de qualidade, a uniformidade de distribuição de água em

unidades de irrigação abastecidas por águas residuárias.

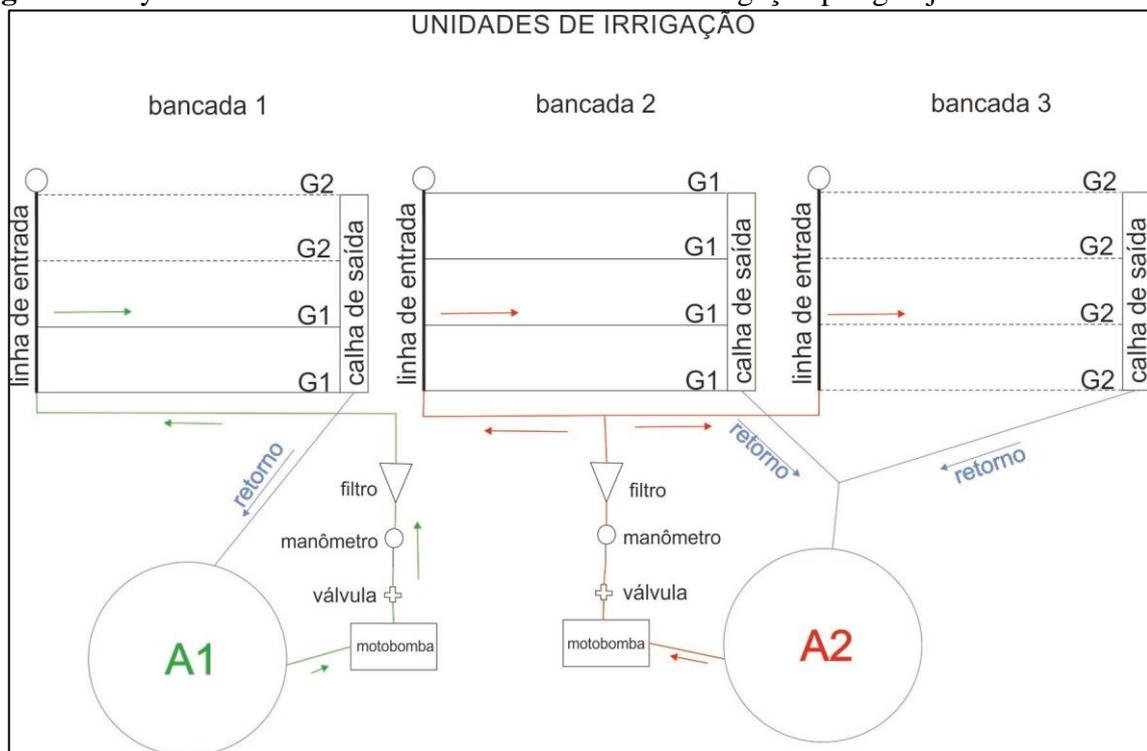
4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente controlado (casa de vegetação) pertencente ao Laboratório de Irrigação e Drenagem, da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Universidade Federal

de Campina Grande (LEID/UAEA/UFCG), no município de Campina Grande, PB. Foram avaliadas três unidades gotejadoras, usando dois modelos diferentes de fitas gotejadoras, a saber: Netafim Streamline e Naandanjain Tal drip, as quais foram codificadas por G1 e G2, respectivamente.

O projeto consistiu-se de um conjunto de três unidades de irrigação por gotejamento distribuídas em bancadas de teste (Figura 1).

Figura 1. Layout das bancadas de teste das unidades de irrigação por gotejamento



A primeira unidade de irrigação por gotejamento consistiu-se da testemunha, composta por duas linhas laterais constituídas por gotejadores do tipo G1 e duas linhas laterais constituídas por gotejadores do tipo G2, operando com fonte de água advinda de captação via cisterna, denominada A1, este procedimento foi realizado buscando-se o uso da água de chuva com a finalidade de utilizar água com baixo teor de sais, evitando assim, influência no sistema por tais elementos. A segunda e a terceira unidades de irrigação por gotejamento operaram com efluente tratado,

denominado de A2, advindo da estação de tratamento de esgoto (ETE), bairro do Glória (Campina Grande), pertencente a Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba (CAGEPA). Para a utilização dos sistemas com efluente tratado foram montadas duas bancadas distintas, compostas cada uma por quatro linhas laterais constituídas pelos gotejadores G1 e G2, respectivamente. Sendo então empregados, quatro tratamentos ao experimento, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Tratamentos aplicados nos sistemas de irrigação por gotejamento

Tratamentos	Unidade de Irrigação	Modelo gotejador	Origem da água
A1G1	1	Netafim Streamline	Cisterna*
A1G2	1	NaanDanJain TalDrip	Cisterna*
A2G1	2	Netafim Streamline	ETE Glória**
A2G2	3	NaanDanJain TalDrip	ETE Glória**

* Água de chuva bruta captada das chuvas e armazenada em reservatório local (cisterna);

** Água residuária oriunda da estação de tratamento de esgotos (ETE) pertencente a Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba (CAGEPA), localizada no município de Campina Grande, bairro do Glória.

Cada unidade de irrigação por gotejamento foi composta por: eletrobomba de ½ CV, reservatório de água com capacidade de 500 litros (caixa d'água de fibra de vidro), filtro de disco de 120 mesh, dois manômetros de glicerina, válvula de retenção, registro de globo, tubos de PVC, conexões e fitas gotejadoras.

Foram realizados 31 ensaios consecutivos de acordo com o tempo de funcionamento pré-estabelecido de 24 horas. As unidades de irrigação por gotejamento estudadas foram acionadas de forma semiautomática, com o acionamento de eletrobombas controladas por temporizadores. Foram 8 horas diárias de funcionamento, nos seguintes horários: 8:00 hs às 12:00 hs e de 13:00 hs às 17:00 hs, de segunda a sábado. As avaliações foram realizadas a cada 24 horas de funcionamento, realizando-se a coleta de volumes de água em todos os gotejadores e a posterior determinação dos volumes coletados. Com volumes de água coletados nos gotejadores foi possível mensurar a vazão dos emissores e CUD a partir das equações 1 e 2, a seguir:

$$q = \frac{V \times 60}{1000 \times t} \quad (1)$$

Em que,

q = vazão do emissor [L/h]; V = volume coletado no emissor [mL]; t = tempo de coleta no emissor [min].

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

Em que,

CUD – coeficiente de uniformidade de distribuição de água [%]; q₂₅ – vazão média de 25% do total de provetas que receberam as menores precipitações, [L/h]; \bar{q} – vazão média ponderada, considerando todas as provetas, L/h.

Para a melhor observação dos processos, foram confeccionados os gráficos de controle X, que respectivamente correspondem ao monitoramento da média do processo. Os gráficos foram gerados com o auxílio do programa Minitab para os parâmetros de vazão (q), coeficiente de uniformidade (CUD).

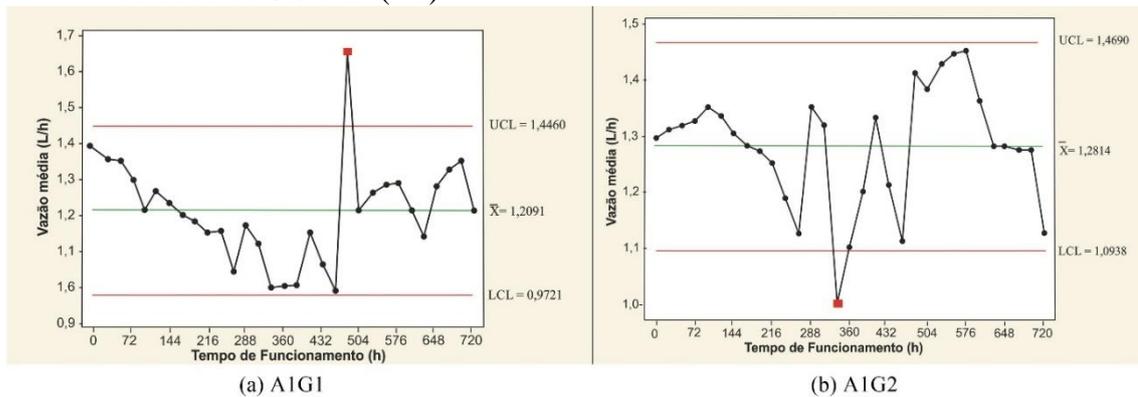
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2, observou-se que a maioria dos valores de vazão por ensaio situaram-se dentro dos limites de controle, entretanto os valores de vazão não atingiram o valor de catálogo do fabricante para ambos modelos de fitas gotejadoras (G1 e G2), respectivamente de 1,6 e 1,7 L/h para os materiais em estado de novo, com exceção da vazão do ensaio correspondente as 504 horas de funcionamento, que alcançou o valor de 1,67 L/h, superior ao LSC (Figura 2 (a)). Vale salientar que os pontos do gráfico que antecedem o pico das 504 horas de funcionamento (Figura 2 (a)), apresentam

segundo Montgomery (2013) um deslocamento de nível do processo (168h às 480h um deslocamento abaixo da linha média), tal comportamento é um indicativo para a falta de controle do processo. Na Figura 2 (b), observou-se que apenas um ensaio apresentou a vazão abaixo do LIC, além do padrão de tendência nos ensaios

iniciais até 264h, que, de acordo com o referido autor, indica uma possível falta de controle mesmo que os pontos do gráfico estejam dentro dos limites de controle estatístico, as causas das tendências, podem estar ligadas a diversos fatores entre eles o desgaste ou deterioração do material.

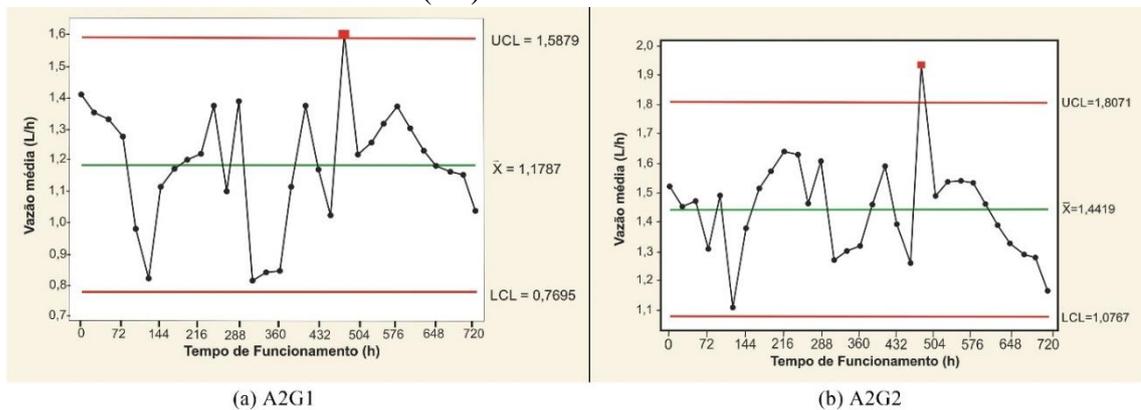
Figura 2. Gráficos de controle vazão média x tempo de funcionamento para as unidades gotejadoras modelo Netafim Streamline (G1) e NaanDanJain TalDrip (G2) e água oriunda de Cisterna (A1).



Na Figura 3, verificou-se a vazão média para as unidades de irrigação que utilizaram água da ETE. Na Figura 3 (a), observou-se que no ensaio correspondente as 480 horas de funcionamento, que alcançou o valor de 1,61 L/h. Fato observado também para a Figura 3 (b) no mesmo tempo de funcionamento, ocorrendo um valor de vazão de 1,94 L/h. O presente estudo corrobora com Mercante et al. (2014) que observaram pontos acima da linha de controle, ao aplicar gráficos de controle para os parâmetros de vazão dos gotejadores.

Houve o efeito gradativo da água residuária na diminuição da vazão para ambas unidades gotejadoras (Figura 3 (a) e (b)), a partir das 576 horas de funcionamento. Ao avaliar a vazão e o controle estatístico de qualidade de Shewhart (limites de controle) de um tubo gotejador autocompensante com vazão de 2,3 L/h utilizando-se água salina, Zocoler et al. (2015) observaram que a vazão de seus ensaios não ficou acima do limite superior de especificação (UCL), ainda que detectado emissores com problema no funcionamento.

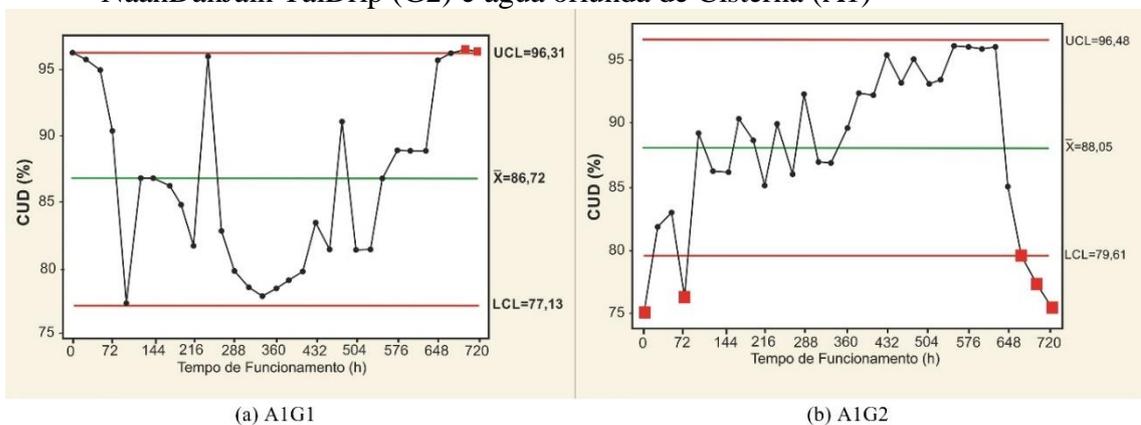
Figura 3. Gráficos de controle vazão média x tempo de funcionamento para as unidades gotejadoras modelo Netafim Streamline (G1) e NaanDanJain TalDrip (G2) e água oriunda da ETE Glória (A2)



Na Figura 4 (a), observou-se a variável coeficiente de uniformidade de distribuição CUD ao longo das 720 horas de funcionamento de um sistema de irrigação instalado com o gotejador tipo G1 operando com água proveniente de cisterna. É possível verificar que o gráfico de controle apresentou dois pontos acima do limite superior de controle (LSC), correspondentes aos valores de 96,34% e 96,32%, respectivamente. Um dos aspectos de campo levantados e que contribuíram para este comportamento se deu pelo fenômeno da dilatação das mangueiras, as quais provocavam pequenas declividades da mesma ao longo da bancada, fazendo com que as gotas emitidas por algum dos

gotejadores investigados escoassem as proximidades dos gotejadores a jusante. Na Figura 4 (b), verificou-se cinco pontos com uniformidade fora dos limites de controle, sendo dois ensaios iniciais que pode ter ocorrido tais valores abaixo do esperado esses valores abaixo do esperado devido a unidade de irrigação ainda está passando por ajustes técnicos, já para os três últimos ensaios a ocorrência da baixa uniformidade se deu pelo desgaste da unidade de irrigação ao longo do seu tempo de funcionamento, tendo em vista que foram observados durante o processo de coleta de dados que alguns emissores se encontravam obstruídos.

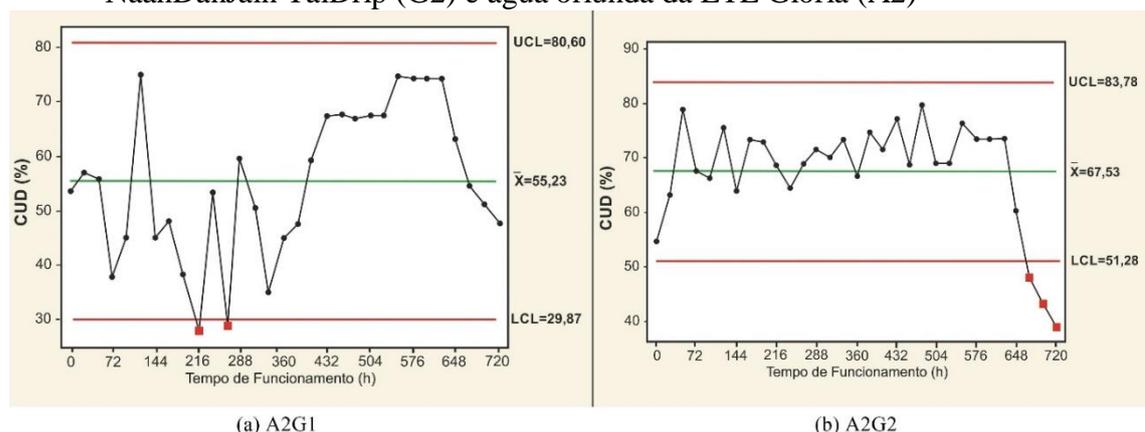
Figura 4. Gráficos de controle coeficiente de uniformidade de distribuição CUD x tempo de funcionamento para as unidades gotejadoras modelo Netafim Streamline (G1) e NaanDanJain TalDrip (G2) e água oriunda de Cisterna (A1)



Os valores de CUD foram influenciados pela qualidade da água, visto os valores inferiores utilizando a água da ETE (Figura 5) quando comparados ao uso da água A1, alcançando valores médios de 55,23% e 67,53% de CUD. Ao avaliar a uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação por gotejamento, em bancadas de testes e utilizando duas metodologias para coleta de vazão, Goés et al. (2016) observaram que a metodologias resultam em gráficos de controle com comportamentos distintos, sendo a metodologia de Deniculi (1980) a que apresentou valores aproximados do valor

médio de 71,38%. Na Figura 5 (a), sistema A2G1, observou-se que das 408h às 648h houve deslocamento de nível do processo, ressaltando segundo Montgomery (2013) é um indicio que o processo tende a sair do controle estatístico. Na Figura 5 (b), houve padrão cíclico do CUD no funcionamento do sistema A2G2 até as 624h, este comportamento causado pela influência das variações ambientais ou de natureza operacional. Vale ressaltar que para o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) foram quantificados mais ensaios com valores fora dos limites de controle.

Figura 5. Gráficos de controle coeficiente de uniformidade de distribuição CUD x tempo de funcionamento para as unidades gotejadoras modelo Netafim Streamline (G1) e NaanDanJain TalDrip (G2) e água oriunda da ETE Glória (A2)



6 CONCLUSÃO

Os dois modelos distintos de emissores funcionaram durante grande parte do período de estudo dentro dos limites de controle estatístico.

Os fatores metodológicos, ambientais e operacionais durante todo o experimento contribuíram significativamente nas variações observadas nos gráficos de controle.

O uso dos indicadores de desempenho vazão média e coeficiente de uniformidade de distribuição, ao

trabalharem em conjunto complementam-se, dando mais segurança quanto ao desempenho hidráulico das unidades de irrigação por gotejamento operando com diferentes tipos de águas.

Comparados os dois tipos de água na operação das unidades de irrigação por gotejamento do estudo, observou-se uma discrepância de valores de uniformidade de distribuição, indicando que o uso de água residual em irrigação por gotejamento deve ser planejada e acompanhada continuamente para evitar perdas de produtividade dentro da área irrigada.

7 AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão

da bolsa de estudo, imprescindível a realização deste trabalho.

8 REFERÊNCIAS

BRALTS, V. F.; KESNER, C. D. Drip irrigation field uniformity estimation. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 26, n.5, p. 1369-1374, 1983.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkely: University of California, 1942.

CUNHA, F. N.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, N. F.; MOURA, L. M. F.; TEIXEIRA, M. B.; GOMES FILHO, R. R. Variabilidade temporal da uniformidade de distribuição em sistema de gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 7, n. 4, p. 248-257, 2013.

DENICULI, W.; BERNADO, S.; THIEBAUT, J. T. L. Uniformidade de distribuição de água em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 27, n. 150. p. 155-162, 1980.

FERREIRA, D. J. L. **Controle estatístico de qualidade em sistema de irrigação por gotejamento utilizando efluente de reator anaeróbio**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

GOÉS, N. C. K.; VILAS BOAS, M. A.; BONEMBERGER, B.; ZUCOLOTTI, T. Uso de ferramentas de gráfico de controle na irrigação por gotejamento. *In*: CONGRESSO CIENTIFICO DA ENGENHARIA E AGRONOMIA, número 1, 2016, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: EPGRAF, 2016. p. 1-5.

HERNÁNDEZ, R. H. **Controle estatístico de processo aplicado na uniformidade da irrigação e fertirrigação por gotejamento**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2010.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 17, n. 4, p. 678-84, 1974.

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.

MERCANTE, E.; VILAS BOAS, M. A.; SILVA, B. B. dá; KLEIN, M. R. Utilização de gráficos de controle estatístico na irrigação. **REMEA - Revista Eletrônica do Mestrado de Educação Ambiental**, Rio Grande, v. 1, n. 1; edição especial, p. 97-108, 2014.

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, 2013.

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.

ZOCOLER, J. L.; RIBEIRO, P. H. P.; SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento com aplicação de água salina. **Irriga**, Botucatu, v.1, n. 1, edição especial, p. 234-247, 2015.