

COMPORTAMENTO DA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE UNIDADES GOTEJADORAS APLICANDO-SE EFLUENTE DE LATICÍNIOS DILUÍDO

M. E. da Cunha¹, R. O Batista², A. B. A. de Araújo.³

RESUMO: Estudou-se a alteração de indicadores como o Coeficiente Uniformidade de Distribuição (CUD) e Coeficiente Uniformidade Estatístico (Us) de unidades gotejadoras operando com efluente de laticínios diluído, detectando aqueles mais susceptíveis ao processo de obstrução. No Laboratório de Poluição e Degradação do Solo, situado na Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA, campus Mossoró/RN, foi montado uma bancada experimental com cinco unidades gotejadoras, cujo desempenho foi avaliado a cada 40 h, até que se completasse 200 h de funcionamento. Para esta avaliação, foram determinadas características como pH, Condutividade Elétrica (CE), Sólidos Suspensos (SS), Sólidos Dissolvidos (SD), Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}), Ferro Total (Fe), Magnésio Total (Mg^{2+}) e Coliformes Totais (CT). Os gotejadores G1 e G5 se mostraram mais resistentes ao entupimento, enquanto que os emissores G2, G3 e G4 apresentaram maior suscetibilidade a esse processo. Os coeficientes estudados apresentaram classificações de boa a excelente no referente à uniformidade de distribuição do efluente de laticínios diluído.

PALAVRAS-CHAVES: Qualidade da água. Eficiência de aplicação. Desempenho hidráulico.

DISTRIBUTION UNIFORMITY BEHAVIOR IN DRIP IRRIGATION SYSTEMS APPLYING IN DILUTED DAIRY EFFLUENT

ABSTRACT: It was studied the alteration of indicators such as the Uniform Distribution Coefficient (UDC) and Coefficient Statistical Uniformity (Us) of dripper units operating with diluted dairy effluent, detecting those most susceptible to the obstruction process. In the Laboratory of Pollution and Soil Degradation, located in the Federal Rural University of the Semi-Arid - UFERSA, Mossoró / RN campus, an experimental bench was set up with five drip units, whose performance was evaluated every 40 hours until 200 h of operating time. For this evaluation, the following parameters were determined: pH, Electrical Conductivity, Suspended

¹ Mestranda, PPGMSA/UFERSA. Mossoró – Rio Grande do Norte. Email: elidaycunha@gmail.com

² Doutor, professor/UFERSA. Mossoró – Rio Grande do Norte. Email: rafaelbatista@ufersa.edu.br

³ Doutoranda, PPGMSA/UFERSA. Rua Artur Paraguai, 166. CEP: 59610-090 Mossoró – Rio Grande do Norte. Fone: (84) 99643 0083 Email: beatrizufersa@gmail.com

Solids (SS), Dissolved Solids (SD), Calcium (Ca²⁺), Magnesium (Mg²⁺), Total Iron (Fe), Total Magnesium and Total Coliforms (CT). The G1 and G5 drippers proved to be more resistant to clogging, while G2, G3 and G4 emitters were more susceptible to this process. The coefficients studied presented good to excellent ranks in relation to the distribution uniformity of the diluted dairy effluent.

KEYWORDS: Water quality. Efficiency of application. Hydraulic performance.

INTRODUÇÃO

A Cadeia Agroindustrial do Leite - CAL, caracterizada como uma das mais importantes do agronegócio brasileiro é responsável por 40% dos postos de trabalho no meio rural. As empresas que a compõem, formam um amplo e diversificado conjunto que vai desde pequenas fábricas que captam reduzido volume de leite, até as multinacionais e cooperativas centrais que processam milhares de litros por dia, oriundos de cerca de 1,5 milhões de propriedades leiteiras (CARVALHO, 2010). Estas indústrias são responsáveis pela geração de resíduos de natureza sólida, líquida e gasosa que, quando mal gerenciados, impactam o ambiente (SILVA, 2011).

O reuso de água na agricultura fornece vários benefícios, podendo-se mencionar: a possibilidade de substituição parcial de fertilizantes químicos, diminuição do impacto ambiental em função da redução da contaminação dos mananciais, aumento significativo na produção, economia da quantidade de água tratada direcionada para a irrigação e consequente aumento desta para o abastecimento público. Nesse sentido, o reuso de água deve ser considerado como parte de uma atividade mais abrangente de gestão integrada atrelada ao seu uso racional e eficiente, compreendendo o controle de perdas e desperdícios, bem como a minimização da produção de efluentes e do consumo de água (BERNARDI, 2003; LIMA et al., 2012).

Para isto, o sistema de irrigação por gotejamento surge como uma alternativa para a minimização dos impactos originados pelo uso indiscriminado da água no setor agrícola - responsável por 70% do seu consumo, devido oferecer menores riscos ambientais e maior eficiência de aplicação, quando comparado aos demais sistemas de irrigação. Vale, também, ressaltar que a sensibilidade ao problema de entupimento varia de acordo com as características do gotejador e qualidade da água utilizada (BATISTA, 2007; BATISTA et al., 2012; SILVA, 2012; BATISTA et al., 2013).

Desta forma, o presente trabalho objetivou avaliar a alteração de indicadores como o Coeficiente Uniformidade de Distribuição (CUD) e o Coeficiente Uniformidade Estatístico

(Us) de unidades gotejadoras operando com efluente de laticínios diluído, detectando aqueles mais susceptíveis ao processo de obstrução.

MATERIAL E MÉTODOS

A realização do experimento foi efetivada no Laboratório de Poluição e Degradação do Solo, localizado no Setor de Solos da Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA, Campus Mossoró/RN, sob coordenadas geográficas 5° 12'12,31" de latitude sul, 37° 19'27,72" de longitude oeste e altitude de 37 m acima do nível do mar.

Para procedência dos ensaios, foi feita a montagem de uma bancada experimental com área útil de 3,5 m², sendo 1,4 m de largura por 2,5 m de comprimento, sorteando-se, pra tal, cinco unidades gotejadoras. Para a recirculação da água residuária, foi utilizado um declive de 2,0% no sentido do comprimento. A mesma é composta por um reservatório plástico de 0,062 m³, uma moto bomba centrífuga de 0,5 cv, um filtro de tela com aberturas de 130 µm, dois manômetros analógicos dois pontos para coleta de amostras do efluente, um hidrômetro de 1,5 m³ h⁻¹, uma tubulação principal em PVC de 32 mm, uma tubulação de derivação em PVC de 50 mm e cinco unidades de irrigação por gotejamento, sorteadas ao acaso. Cada unidade de irrigação foi composta por quatro linhas laterais de 16 mm de um tipo de gotejador.

Para procedência do experimento, foram utilizados dois tipos de água: a água de abastecimento, oriunda da rede da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) e; a água residuária de laticínios oriunda de um empreendimento localizado no município de Mossoró/RN, sob as coordenadas geográficas 5°11'44,65" S e 37° 18' 36,04" O, onde, durante o processamento e sanitização das instalações, gera 35 m³ de efluente por dia.

Para tal, foi efetivada a diluição de uma parte de efluente de laticínios em duas partes de água de abastecimento público (1:2), com a finalidade de reduzir a viscosidade do resíduo bruto e possibilitar o seu bombeamento. As linhas emissoras, por onde circulou o efluente, eram compostas por gotejadores, escolhidos devido sua maior demanda comercial de mercado (FIGURA 2), cujas características, retiradas dos catálogos dos fabricantes (TABELA 1).

Durante todo o período experimental, a temperatura ambiente do laboratório foi controlada para que a água residuária fosse mantida dentro da faixa de temperatura de 23 ± 3°C, conforme recomendado pela NBR ISO 9261 (BRASIL, 2006).

As unidades de irrigação funcionaram quatro horas por dia, durante sete dias da semana até completar-se o tempo de funcionamento de 200 h, operando na pressão de serviço de 100 kPa. Na metodologia proposta por Cunha et al. (2006), um tempo de operação de 144 h foi

suficiente para proporcionar a obstrução de gotejadores, operantes com água residuária, e a avaliação de seu desempenho hidráulico.

Para tal, a vazão foi medida em 24 gotejadores, de cada unidade de irrigação, coletando-se o volume aplicado durante três minutos. Capra e Scicolone (1998) e a NBR ISO 9261 (BRASIL, 2006), recomendam, para o tempo de coleta citado, a utilização de, no mínimo, 16 gotejadores para avaliação do desempenho hidráulico de sistemas de irrigação por gotejamento com problemas de entupimento e, variações de vazão entre os gotejadores, no tempo de operação inicial (0 h), na faixa de $\pm 7\%$. O desempenho dos sistemas foi avaliado a cada 40 h, empregando as equações 1, 2 e 3:

$$Q = \frac{V}{1000 \cdot t} \cdot 60 \quad (1)$$

Em que:

Q - Vazão do gotejador ($L h^{-1}$);

V - Volume de efluente coletado (ml) e;

t - Tempo de coleta do efluente (min).

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

Em que:

CUD - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (%);

$q_{25\%}$ - Valor médio dos 25% menores valores de vazões dos gotejadores ($L h^{-1}$) e;

\bar{q} - Vazão média dos gotejadores ($L h^{-1}$).

$$U_s = 100 \cdot (1 - CVQ) \quad (3)$$

Em que:

U_s - Coeficiente de Uniformidade Estatístico de aplicação de efluente (%);

CVQ - Coeficiente de Variação da Vazão (%).

Os valores de CUD e U_s obtidos nas unidades gotejadoras foram analisados empregando-se os critérios estabelecidos por Mantovani (2001), que propôs a seguinte classificação para o CUD: maior que 84% excelente, entre 68 e 84% bom, entre 52 e 68% razoável, entre 36 e 52% ruim e, menor que 36% inaceitável e; U_s : entre 90 e 100% excelente, entre 80 e 90% bom, entre 70 e 80% razoável, entre 60 e 70% ruim e, menor que 60% inaceitável.

Constam os valores correspondentes às análises físico-químicas e microbiológicas realizadas para a água residuária de laticínios diluída em água de abastecimento público (na

proporção de 1:2). Para tal, seguiram-se as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (RICE et al., 2012), (TABELA 2).

As análises físicas, realizadas no Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta (LASAP) do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da UFERSA, compreenderam a determinação de Sólidos Dissolvidos (SD) - obtidos pela diferença entre as concentrações dos Sólidos Totais (ST) (pelo método gravimétrico) e dos Sólidos Suspensos (SS); dos Sólidos Suspensos (SS) - pelo método gravimétrico com a utilização de membranas de fibra de vidro (0,45 μm de diâmetro de poro); do potencial Hidrogeniônico (pH) - com peagâmetro de bancada e; da Condutividade Elétrica (CE) - com condutivímetro de bancada.

Nas análises químicas, realizadas nos Laboratórios de Matéria Orgânica e Resíduos e de Espectrofotometria Atômica, do Departamento de Solos da UFV, foram obtidas as concentrações de Ferro total (Fe) e Manganês total (Mn) por espectrofotometria de absorção atômica. Obtiveram-se, também, análises de Cálcio (Ca^{2+}) e Magnésio (Mg^{2+}) pelo método titulométrico, no LASAP da UFERSA.

Nas análises microbiológicas, realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da UFERSA, foram quantificados os níveis populacionais de Coliformes Totais (CT), de acordo com as recomendações do Standart methods for examination of water and wastewater (RICE, et al., 2012). Os dados de qualidade da água residuária de laticínios foram analisados por meio da estatística descritiva através de média e desvio padrão.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As unidades de irrigação submetidas à pressão de serviço de 100 kPa, durante o período de funcionamento inicial (0 h) e 80 h, apresentaram valores do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD - %) entre 98 e 90%, com exceção do G2 que às 80 h apresentou um percentual de 89%. Entre os tempos de 120 e 200 h, apenas os gotejadores G4 (com exceção das 160 h em que se mostrou com 80%), G1 e G5 permaneceram com seus coeficientes acima dos 90% - variando entre 91 e 97%, enquanto o G3 e G2 apresentaram valores entre 82 e 89% (FIGURA 1A).

Mantovani (2001), sugere para a classificação do CUD os seguintes valores: maior que 84% excelente, entre 68 e 84% bom, entre 52 e 68% razoável, entre 36 e 52% ruim e, menor que 36% inaceitável. Desta forma, analisando-se a figura acima, verificou-se que os gotejadores

G1 e G5 apresentaram classificação excelente, enquanto que às 160 h os gotejadores G3 (com 83%) e G4 (80%), bem como o G2 (82%) às 200 h, classificaram-se como bons.

Silva (2012), atuando com água residuária da castanha de caju, no tempo de operação de 0 h às 160 h e sob diferentes pressões (70, 140, 210 e 280 kPa), encontrou para esta variável valores (acima dos 90%), classificados como excelentes. Porém, na pressão de serviço de 70 kPa o valor de CUD foi classificado como ruim. Autores como Batista et al., (2013) e Franco (2015), em seus experimentos com água residuária da suinocultura, também obtiveram valores de variação de uniformidade classificados como excelentes, com percentuais acima dos 90%.

Sabe-se que o sistema de irrigação localizada dispõe de emissores que apresentam alta suscetibilidade ao entupimento devido à combinação dos fatores físicos, químicos e biológicos que constituem a sua principal causa de obstrução quando utilizados na aplicação desses efluentes, ato que afeta diretamente a uniformidade de aplicação e, conseqüentemente, a eficiência do sistema através da presença e, conseqüente, acúmulo de partículas inorgânicas em suspensão, materiais orgânicos, sólidos dissolvidos, algas e outros microrganismos de natureza química e biológica (BATISTA, 2007; BATISTA et al., 2012; SILVA, 2012; BATISTA et al., 2013). Todavia, como mostrado na classificação, o sistema, durante o período experimental, não apresentou grande comprometimento em sua eficiência, uma vez que se classificou como bom e excelente, ato provavelmente dado pelo não uso do efluente de laticínio puro, mas sim diluído em água de abastecimento, na proporção de 1:2, o que levou ao desenvolvimento de um sistema de irrigação, relativamente, bem elaborado em que se permitiu um melhor alcance de uniformidades de aplicação.

As unidades de irrigação submetidas à pressão de serviço de 100 kPa, nos tempos de funcionamento inicial e 120 h, apresentaram valores do Coeficiente de Uniformidade Estatística (U_s - %) entre 98 e 90%, com exceção do G3 que às 120 h apresentou um percentual de aproximadamente 85%. Entre os tempos de 160 e 200 h, apenas os gotejadores G4 (com exceção das 160 h em que se mostrou com aproximadamente 83%), G1 e G5 permaneceram com seus coeficientes acima dos 90% - variando entre 94 e 96%, enquanto o G3 e G2 apresentaram valores entre 87 e 88% (FIGURA 1B).

Conforme a classificação proposta por Mantovani (2001), o U_s apresenta-se com os seguintes valores: entre 90 e 100% excelente, entre 80 e 90% bom, entre 70 e 80% razoável, entre 60 e 70% ruim e, menor que 60% inaceitável. Desta forma, analisando-se a figura acima, verificou-se que os gotejadores G1 e G5 apresentaram classificação excelente, enquanto que às 160 h o gotejador G4 (com aproximadamente 83%), o G2 de 160 a 200 h (com

aproximadamente 88 e 89%, respectivamente) e o G3 de 120 a 200 h (com 85 e 88%, respectivamente), classificaram-se como bons.

Vale (2014) avaliando sistemas de irrigação operando com percolado de aterro sanitário diluído, verificou que os valores médios de Us de todas as combinações entre tipos de gotejadores e pressões de serviço do sistema (atuando a 70, 140, 210 e 280 kPa), dentro dos tempos de operação inicial (0 h) e final (160 h), foram classificados como excelentes, obtendo eficiência acima dos 90%, corroborando com o valor encontrado por Franco (2015), em seu experimento com água residuária da suinocultura, também mantido a faixas de eficiência acima dos 90%, ato que não permitiu o comprometimento por obstruções parciais.

CONCLUSÃO

As classificações obtidas para os emissores avaliados foram de excelentes a boas para o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição e Coeficiente de Uniformidade Estatística. Os gotejadores G1 e G5, operando na pressão de serviço de 100 kPa, são os mais recomendados para a aplicação da água residuária de laticínios diluída em água de abastecimento público na proporção de 1:2, uma vez que se mostraram mais resistentes ao entupimento. Enquanto que os emissores G2, G3 e G4 foram os que apresentaram maior suscetibilidade a esse processo.

REFERÊNCIAS

BATISTA, R. O. Desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento utilizado na aplicação de água residuária de suinocultura. Viçosa: DEA/UFV, 2007. 146f. Tese (Doutorado) – Curso em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

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. Campina Grande/PB. v.17, n.7, p.698–705, 2013.

BATISTA, R. O.; SILVA, K. B. da; OLIVEIRA, R. A. de; B. FILHO, S.; DIAS, N. da S. Desempenho hidráulico de sistema de irrigação por gotejamento aplicando água residuária de suinocultura. Agropecuária Científica no Semiárido – ACSA. V. 8, n. 3, p. 105-111, 2012.

BERNARDI, C. C. Reuso de água para irrigação. Monografia (Pós-Graduação) – Curso Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada, Instituto Superior de Administração e Economia, Brasília – DF, 2003.

BERNARDI, C. C. Reuso de água para irrigação. Monografia (Pós-Graduação) – Curso Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada, Instituto Superior de Administração e Economia, Brasília – DF, 2003.

BRASIL. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Equipamentos de irrigação agrícola - Emissores e tubos emissores - Especificações e métodos de ensaio. ABNT NBR ISO 9261. São Paulo: ABNT, 2006. 17p.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. *Journal of Agricultural Engineering Research*, London, v. 70, n. 4, p. 355-365, 1998.

CARVALHO, G. R. A Indústria de laticínios no Brasil: passado, presente e futuro. EMBRAPA; Juiz de Fora/MG, 2010. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/870411/1/CT102.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2016.

CUNHA, F. F.; MATOS, A. T.; BATISTA, R. O.; LO MONACO, P. A. Uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação por gotejamento utilizando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 28, p. 143-147, 2006.

FRANCO, D. Avaliação do desempenho de gotejadores com uso de água residual da suinocultura. 56f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, UNESP. Botucatu/SP, 2015.

LIMA, D. C.; CHAVES, M.; LIMA, A. C.; LIMA, D. L. de. Reuso de água para a irrigação: Uma abordagem reflexiva. Crato: II Colóquio Sociedade, Políticas Públicas, Cultura e Desenvolvimento-CEURCA, ISSN 2316-3089. Universidade Regional do Cariri-URCA, Crato, 2012.

MANTOVANI, E. C. AVALIA: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada. Viçosa, MG: UFV. 2001.

RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; CLESCERI, A. D. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2012. 1496p.

SILVA, D. J. P. da. Resíduos na indústria de laticínios. Monografia (Graduação) -Curso Sistema de Gestão Ambiental, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa/MG, 2011.

SILVA, K. B. da. Desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento operando com água residuária da castanha de caju sob diferentes pressões de serviço.69 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestre em Irrigação e Drenagem, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró/RN, 2012.

VALE, H. S. M. Desempenho de gotejadores operando com percolado de aterro sanitário diluído sob pressões de serviço. Dissertação (Mestrado Manejo de Solo e Água) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2014. 107 f.

Tabela 1. Gotejadores (G) utilizados nos ensaios experimentais, destacando o fabricante (F), o dispositivo de autocompensação (DA), a vazão nominal (Q), o coeficiente de vazão (k), expoente da vazão que caracteriza o regime de escoamento (x), a área de filtragem (A), o comprimento do labirinto (L), o coeficiente de variação de fabricação (CVf), a faixa de pressão recomendada (P) e o espaçamento entre emissores (EE).

G	F	DA*	Q ^{1*} (L/h)	k*	x*	A* (mm ²)	L* (mm)	CV _f * (%)	P* (kPa)	EE* (m)
G1	Netafim Streamline	Não	1,60	0,57	0,45	17,0	13	± 7	65 – 100	0,30
G2	Netafim Tiran	Não	2,00	0,69	0,46	70,0	75	± 7	100 – 300	0,40
G3	Netafim PCJ CNJ	Sim	2,00	2,00	0,00	2,0	35	± 7	50 – 400	0,20
G4	NaanDanJain TalDrip	Não	1,70	0,56	0,46	6,0**	44**	± 5	50 – 300	0,20
G5	Netafim Super Typhoon	Não	1,60	0,53	0,48	34,0	23	± 7	60 – 100	0,30

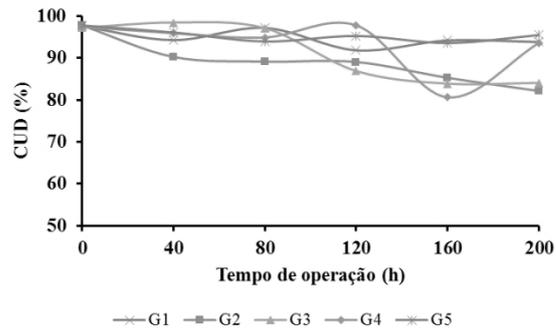
Nota: ¹ - Vazão nominal dos gotejadores na pressão de serviço de 100 kPa; * informações obtidas nos catálogos dos fabricantes. CNJ - sistema anti-drenante; e ** informações medidas com auxílio de um parquímetro digital com precisão de 0,01 mm.

Tabela 2. Características físico-químicas e microbiológicas de uma parte de efluente de laticínios diluída em duas partes de água de abastecimento público com respectiva média e desvio padrão.

Características	pH	CE	SS	SD	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe	Mn	CT
		dS m ⁻¹	mg L ⁻¹		mmol _c L ⁻¹		mg L ⁻¹		NMP 100 mL ^{-1*}
Média	7,67	1,24	393	929	0,87	1,08	0,20	0,07	3,77x10 ⁵
Desvio padrão	0,23	0,06	177	196	0,33	0,69	0,08	0,01	1,84

Nota: ² Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE), Sólidos Suspensos (SS), Sólidos Dissolvidos (SD), Cálcio (Ca²⁺), Magnésio (Mg²⁺), Ferro total (Fe), Manganês total (Mn), Coliformes Totais (CT) e Número Mais Provável (NMP).

A.



B.

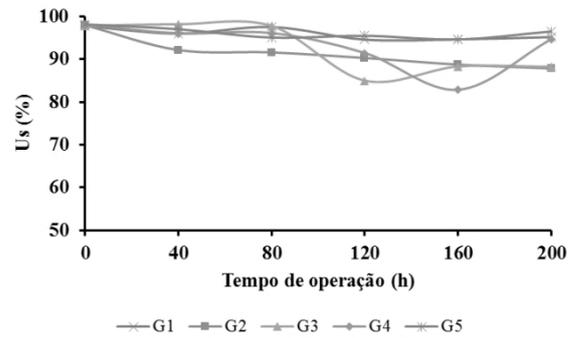


Figura 1. Valores médios do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (A) e do Coeficiente de Uniformidade Estatística (B) das unidades de irrigação para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e pressão de serviço de 100 kPa.