

DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO COM APLICAÇÃO DE ÁGUA SALINA

JOÃO LUÍS ZOCOLER¹; PEDRO HENRIQUE PINTO RIBEIRO²; NELMÍCIO FURTADO DA SILVA³; FERNANDO NOBRE CUNHA³; MARCONI BATISTA TEIXEIRA⁴ E FREDERICO ANTONIO LOUREIRO SOARES⁴

¹Eng. Agrícola, Prof. Doutor FCA/UNESP. Rua José Barbosa de Barros, 178, CEP 18610-307, Botucatu, SP. Fone: (14) 3711-7100. E-mail: zocoler@agr.feis.unesp.br

²Tecnólogo em Irrigação e Drenagem, Doutorando FCA/UNESP. Rua José Barbosa de Barros, 178, CEP 18610-307, Botucatu, SP. Fone: (14) 3711-7100. E-mail: pedroirri@gmail.com

³Eng. Agrônomo, Doutorando em Ciências Agrárias - Agronomia. Instituto Federal Goiano – IF Goiano – Campus Rio Verde, GO, e-mail: nelmiciofurtado@gmail.com, fernandonobrecunha@hotmail.com

⁴Eng. Agrônomo, Prof. Dr. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, GO, e-mail: marconibt@gmail.com, fredalsoares@hotmail.com

1 RESUMO

Com a crescente busca por águas de boa qualidade e máxima eficiência em aplicação, a irrigação por gotejamento vem crescendo em áreas de agricultura familiar e pequenas propriedades. O nordeste brasileiro com sua má distribuição de chuvas tem sofrido com a escassez de água em várias regiões, assim dar-se o uso de águas salinas. Objetivou-se com este estudo avaliar a vazão, a uniformidade de distribuição, o índice de capacidade de processo e o controle estatístico de qualidade de Shewhart (limites de controle) de um tubo gotejador autocompensante com vazão de 2,3 L h⁻¹ utilizando-se água salina. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6 x 4, sendo considerados seis níveis de salinidade da água de irrigação (0,6; 1,5; 2,5; 3,5 e 4,5 dS m⁻¹) e quatro pressões de serviço (59, 98, 137 e 157 kPa) com três repetições. O coeficiente de variação de fabricação foi classificado como excelente (<5%), para todos os níveis de salinidade. Os níveis de salinidade de 0,6, 1,5, 3,5 e 4,5 dS m⁻¹, provocaram redução na vazão, conforme a variação de pressão.

Palavras-chave: vazão média, salinidade, uniformidade

ZOCOLER, J. L.; RIBEIRO, P. H. P.; SILVA, N. F. da; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.

PERFORMANCE OF A DRIPPING IRRIGATION SYSTEM APPYING SALINE WATER

2 ABSTRACT

With the increasing search for water of good quality and maximum efficiency in application, dripping irrigation has grown in areas of family farming and smallholdings. The Brazilian northeast with its poor rainwater distribution has suffered from lack of water in several regions, which has led to the use of saline water. The objective of this study was to evaluate the flow, distribution uniformity, process capability index and the statistical quality control of Shewhart of a self-compensating drip emitter with a 2.3 L h⁻¹ flow rate using saline water. Randomized

blocks with a 6 x 4 factorial design was used with six levels of saline irrigation water (0.6; 1.5; 2.5; 3.5 and 4.5 dS m⁻¹) and four operating pressures (59, 98, 137 and 157 kPa) with three replicates. The coefficient of manufacturing variation was classified as excellent (<5%) for all levels of salinity. The salinity levels of 0.6, 1.5, 3.5 and 4.5 dS m⁻¹ decreased flow rate according to the pressure variation.

Keywords: mean flow rate, salinity, uniformity

3 INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada depende tanto da quantidade como da qualidade da água. No entanto, a qualidade tem sido desprezada devido ao fato de que no passado as fontes de água, no geral, eram abundantes, de boa qualidade e de fácil utilização. Esta situação, todavia, está se alterando em muitas localidades. A qualidade da água é um fator essencial, pois problemas com entupimento diminuem a eficiência do sistema, o que exige água de boa qualidade para irrigação, livre de sólidos suspensos e dissolvidos (BRAUER, 2010).

No nordeste brasileiro a quantidade e qualidade da água de irrigação a cada dia que passa diminui, contaminada por sais ou dejetos domésticos, industriais e urbanos. Com a crescente necessidade de se economizar água, a irrigação localizada vem se destacando por apresentar características como o uso racional da água com baixos volumes e altas frequências, depositada na região radicular da cultura com elevado grau de uniformidade de aplicação e distribuição da água (LAPERUTA NETO, 2011).

A irrigação localizada pode economizar significativamente o volume de água, pela elevação da eficiência de irrigação e pela prática do reúso de águas salinas ou marginais poluídas, reduzindo a captação de águas naturais. A avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento superficial e subsuperficial foi estruturada por vários pesquisadores, como Coelho (2007), Teixeira et al. (2008), Ribeiro et al. (2012) e Cunha et al. (2014b).

A obstrução dos emissores influencia na uniformidade de distribuição de água, e está relacionada a vários fatores, especialmente a qualidade de água, geometria dos orifícios, sistema de filtragem e sensibilidade do emissor à temperatura e variações de pressão.

A salinidade é uma importante característica dos efluentes utilizados na agricultura, podendo trazer problemas de obstrução de gotejadores quando existe interação entre os íons, gerando precipitados ou promovendo o desenvolvimento de lodo. Dentre tais fatores, destacam-se a precipitação química por íons contidos na água de irrigação, especialmente os carbonatos de cálcio e/ou de magnésio, bastante comuns em regiões áridas e semiáridas (MÉLO; COELHO; TEIXEIRA, 2008).

Diversos trabalhos encontrados na literatura tratam do uso de águas marginais poluídas na irrigação, porém existe uma necessidade do desenvolvimento de pesquisas que caracterizem o efeito do uso de águas salinas na agricultura com o intuito de minimizar os efeitos dos sais em equipamentos de irrigação. Dessa forma, objetivou-se com este estudo avaliar a vazão, a uniformidade de distribuição, o índice de capacidade de processo e o controle estatístico de qualidade de Shewhart do tubo gotejador RAIN BIRD XF-SDI.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido em casa de vegetação pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande – PB, Campus I, utilizando-se o tubo gotejador RAIN BIRD XF-SDI. O gotejador possui vazão de $2,3 \text{ L h}^{-1}$, com faixa de pressão de 0,48 a 4,14 PSI, sendo o mesmo autocompensante.

Para o preparo das soluções salinas utilizaram-se cinco tambores de polietileno (bombonas) de 200 L e o sistema de irrigação foi composto por uma eletrobomba Dancor de 0,5 cv, um filtro de tela 120 mesh, e uma linha principal/secundária com três linhas laterais de 6,0 m com gotejadores espaçados a 0,30 m entre si (15 gotejadores por linha lateral). No experimento foram avaliados 15 gotejadores com três repetições para cada nível salino da água de irrigação. Os gotejadores foram definidos aleatoriamente. Na Figura 1 é mostrado o sistema de irrigação. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5×4 , sendo considerados seis níveis de salinidade da água de irrigação (0,6; 1,5; 2,5; 3,5 e 4,5 dS m^{-1}) e quatro pressões de serviço (59, 98, 137 e 157 kPa) com três repetições. Cada nível de salinidade (0,6; 1,5; 2,5; 3,5 e 4,5 dS m^{-1}) foi preparado de acordo com a metodologia proposta por Richards (1954), conforme Equação 1.

$$Q_{\text{NaCl}} = 640 \times (\text{CE}_{\text{ad}} - \text{CE}_{\text{ai}}) \quad (1)$$

em que:

Q_{NaCl} – Quantidade de NaCl, em mg L^{-1} ;

CE_{ad} - condutividade elétrica da água desejada, em dS m^{-1} ;

CE_{ai} - condutividade elétrica da água inicial, em dS m^{-1} .

Figura 1. Caracterização do sistema de irrigação: (A) bombonas de 200L; (B) preparo das soluções salinas; (C) controle da irrigação e (D) três linhas laterais para ensaio de vazão.



A caracterização química da água utilizada no experimento está descrita na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas da água utilizada no ensaio

Características químicas	Valor
pH	7,47
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	0,39
Cloro ⁻	2,21
Carbonato	0,00
Bicarbonato	1,30
Sulfato	Ausente
Cálcio ²⁺	mmol _c L ⁻¹ 1,00
Cálcio ²⁺ + Magnésio ²⁺	1,30
Potássio ⁺	0,14
Sódio ⁺	1,55
Relação de adsorção de sódio, (mmol L ⁻¹) ^{0,5}	1,94
Classificação quanto ao risco de salinidade*	Médio
Classificação quanto ao risco de sodicidade*	Baixo

*Segundo Richards (1954).

Para se obter maior exatidão foi utilizado o método gravimétrico, onde a vazão foi coletada em cada emissor por linha lateral, com a utilização de coletores plásticos, para deste modo determinar o volume coletado de cada gotejador, utilizando-se uma balança de precisão certificada. O volume de água coletado para cada gotejador ocorreu num período de cinco minutos para cada pressão de serviço pré-estabelecida.

Na entrada das linhas gotejadoras foi instalado um ponto para verificar pressão, permitindo que a cada ensaio de medição de vazão (três repetições/pressão de serviço) fosse checada a pressão operacional e, se necessário, ajustada àquela pré-estabelecida. Utilizou-se um manômetro de Bourdon fixo com faixa de leitura de 0 – 10 Kgf cm⁻².

A água liberada pelos gotejadores durante os testes foi armazenada em recipientes individuais, e posteriormente seu volume medido em proveta graduada e depois de tabulados os pesos para cada gotejador foram efetuados os cálculos da vazão, do coeficiente de variação de vazão e do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) de água pelas Equações 2 a 4, respectivamente.

$$q = \frac{P}{1000t} 60 \quad (2)$$

$$CV_q = \frac{s}{q} 100 \quad (3)$$

$$CUD = \frac{q_{25\%}}{q} 100 \quad (4)$$

em que:

P – peso da água coletada, g;

t – tempo de coleta, min;

q – vazão do gotejador, L h⁻¹.

CV_q – coeficiente de variação de vazão, %;

s – desvio padrão da vazão dos gotejadores, L h⁻¹;

CUD – coeficiente de uniformidade de distribuição de água, %;

$q_{25\%}$ – vazão média de 1/4 dos menores valores, L h⁻¹;

\bar{q} – vazão média, L h⁻¹.

Para o cálculo do índice de capacidade de processo (C_{pl}), conforme a Equação 5, foi fixado como valor alvo a vazão nominal informada pelo fabricante, que para a pressão de serviço de 157 kPa foi de 2,3 L h⁻¹, e como limite inferior, a vazão média do ensaio, cujo o CUD foi 97,7%, fixando assim a vazão em 2,09 L h⁻¹.

$$C_{pl} = \frac{LCL - \bar{x}}{3\sigma} \quad (5)$$

em que:

LCL – Limite inferior de especificação, L h⁻¹;

\bar{x} – média amostral, L h⁻¹, e

σ - desvio padrão-amostral da variável em estudo.

Para o controle estatístico de qualidade de Shewhart foram calculados os limites superiores e inferiores de especificação, obtidos pelas Equações 6 e 7, respectivamente.

$$LCL = \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

$$UCL = \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

em que:

LCL – Limite inferior de especificação, L h⁻¹;

UCL – Limite superior de especificação, L h⁻¹;

μ - média da vazão dos gotejadores, L h⁻¹;

n – número de gotejadores, e

σ – desvio-padrão amostral.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($P < 0,05$) e, em casos de significância, foi realizada a análise de regressão, utilizando-se o software estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos ensaios de vazão em função da pressão, para o gotejador novo, adequaram-se ao modelo exponencial com R^2 de 98%, com o aumento da pressão a vazão se aproximou da vazão nominal informada pelo fabricante. Na Figura 2A pode-se verificar que a vazão foi 9% menor do que a vazão nominal, na pressão de 59 kPa, já para as pressões de 98, 137 e 157 kPa essa diferença não foi superior a 1,7% indicando bom desempenho.

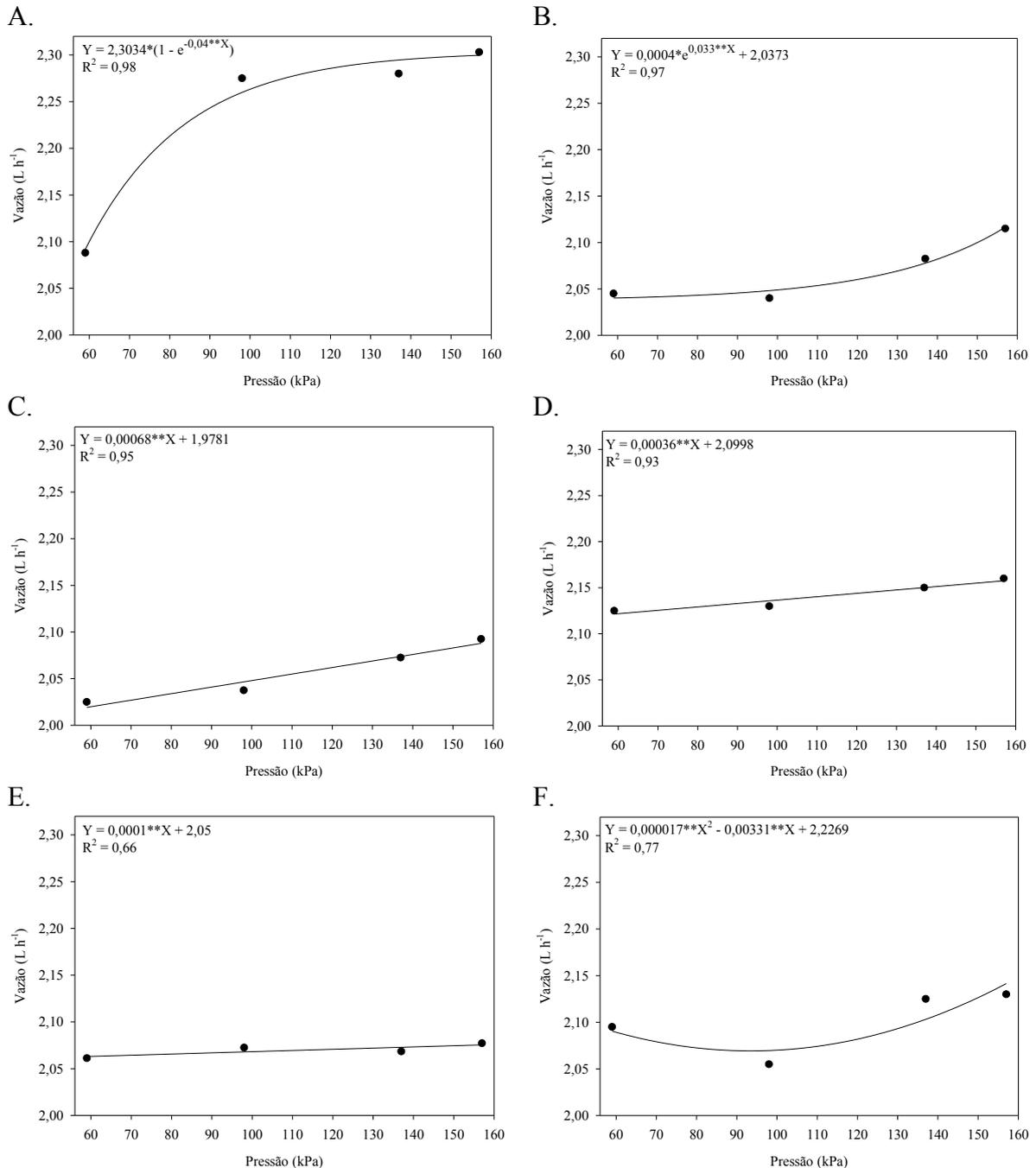
Lima et al. (2014) observaram que para o coeficiente de variação de fabricação em emissores novos ocorreu decréscimo com o aumento da pressão de serviço fornecida ao sistema, além disso também verificaram que para a pressão 60 kPa quando se aumentou o nível de

salinidade da água de irrigação elevou-se o coeficiente de variação de uso, porém para as pressões de 100 e 160 kPa quando foi aplicada água com salinidade maior o coeficiente de variação de uso diminuiu.

A curva característica de vazão em função da pressão para o nível de salinidade de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ adequou-se ao modelo exponencial de crescimento, com R^2 de 97%, sendo verificado na pressão de serviço de 59 kPa uma redução na vazão de 11,3% em relação à vazão nominal (Figura 2B). Para este mesmo nível de salinidade, a vazão nas pressões de 98, 137 e 157 kPa apresentou diferença de 10,9, 9,7 e 8% em relação à vazão nominal, respectivamente.

As curvas características para os níveis de salinidade de 1,5, 2,5 e $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ adequaram-se a modelos lineares, com R^2 de 95, 93 e 66% (Figura 2C, D e E). A diferença entre a vazão observada e a vazão nominal entre a pressão de 59 e 157 kPa, variou de 12,2 a 9,2%, de 7,8 a 6,2% e de 10,3 a 9,8%, para 1,5, 2,5 e $3,5 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente.

Figura 2. Vazão em função da pressão, para o gotejador novo (A) e para os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação de 0,6 (B), 1,5 (C), 2,5 (D), 3,5 (E), e 4,5 dS m⁻¹ (F).



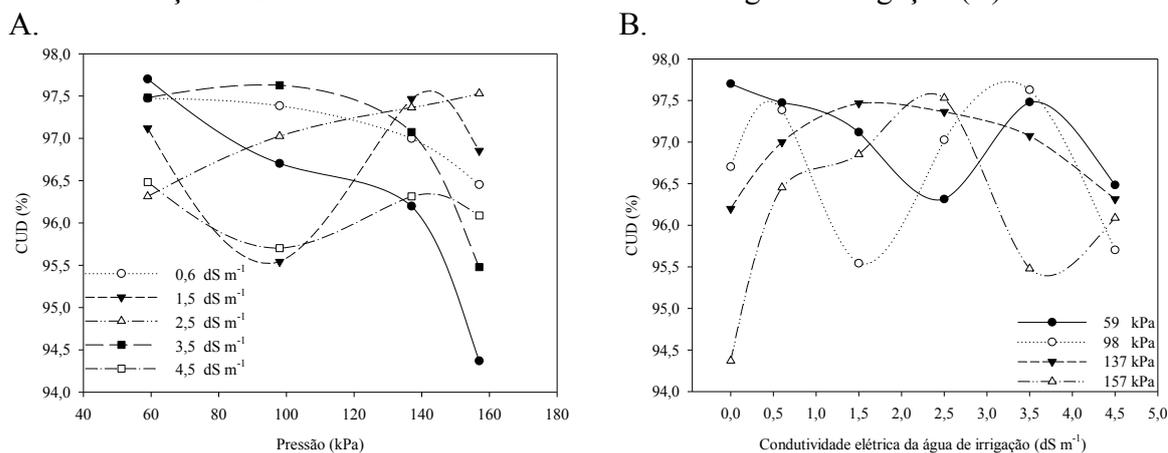
Para o nível de salinidade de 4,5 dS m⁻¹ a curva característica da vazão adequou-se ao modelo quadrático, com R² de 77% (Figura 2F). A vazão mínima ocorreu na pressão de 97 kPa, a qual foi 10,4% menor do que a vazão nominal, já para as pressões de 59, 137 e 157 kPa essa diferença ficou entre 6,8 e 9,2%. Silva et al. (2015) nos níveis de salinidade de 1,5 e 3,5 dS m⁻¹, verificaram que os emissores obtiveram vazões classificadas incapazes, exigindo manutenções antes de completar 210 horas de funcionamento do sistema.

A vazão média de gotejadores é um bom parâmetro para avaliar alterações quanto ao funcionamento, seja devido a problemas de entupimento, seja a outros problemas (CARARO et al., 2006; MÉLO, 2007). Para prevenir o entupimento de gotejadores ao longo da malha hidráulica é essencial a avaliação sistemática do sistema de irrigação e o monitoramento da qualidade da água utilizada (TEIXEIRA, 2006; COELHO, 2007; TEIXEIRA et al., 2008). A sensibilidade ao problema de entupimento varia com as características do emissor (BATISTA et al., 2006).

O CUD em relação ao nível de salinidade de 0,6, 1,5, 2,5, 3,5 e 4,5 dS m⁻¹, foi superior a 94,3%, sendo classificado como excelente segundo a classificação proposta por American Society of Agricultural Engineers (2009), (Figura 3A e B).

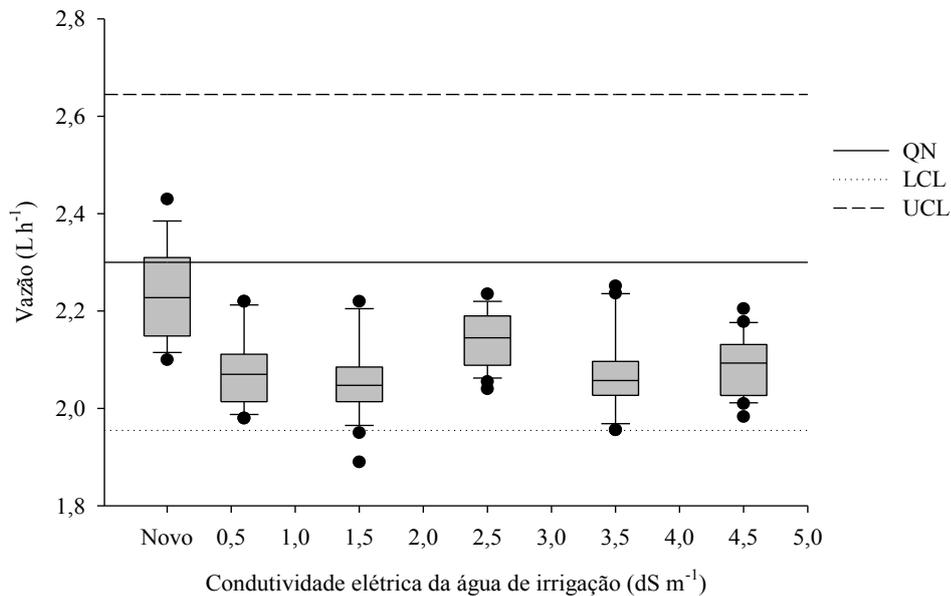
Uma baixa porcentagem de gotejadores entupidos na linha lateral pode reduzir a uniformidade de distribuição de água às plantas (AIROLDI, 2007). Para Cunha et al. (2013) a uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação por gotejamento depende do dimensionamento hidráulico, da qualidade dos gotejadores, da qualidade da água e do uso da fertirrigação com sais que podem ocasionar o entupimento dos emissores.

Figura 3. Coeficiente de uniformidade de distribuição de água em função da pressão (A) e em função dos níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (B).



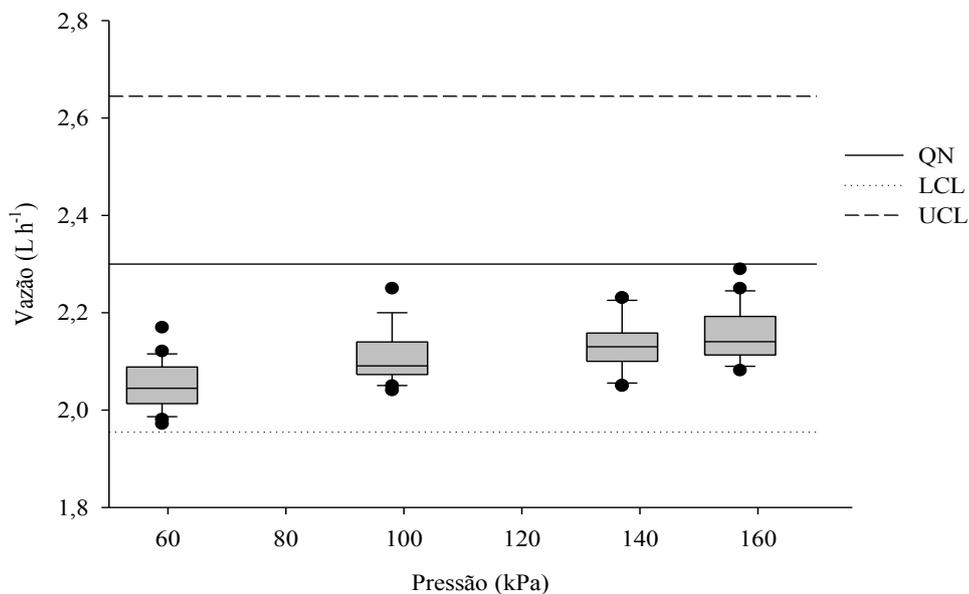
Na Figura 4 a vazão observada nos ensaios não ficou acima do limite superior de especificação (UCL). Quando observado o nível de salinidade de 1,5 dS m⁻¹ verificou-se que a vazão do emissor 8 (2,06 L h⁻¹) ficou abaixo do LCL (2,09 L h⁻¹), indicando que o emissor apresenta algum problema no funcionamento. Mercante et al. (2014) observaram que a vazão do emissor 9 da primeira linha apresentou vazão maior que o Limite Superior de Controle igual a 1,98 L h⁻¹ e na pressão de 250 kPa o gotejador 10 da primeira linha também ultrapassou o UCL igual a 1,92 L h⁻¹.

Figura 4. Controle de qualidade de Sewhart: vazão nominal (QN), limite superior (UCL), limite inferior de especificação (LCL) em função dos níveis de salinidade e para o gotejador novo.



A aplicação do controle de qualidade de Sewhart em função da pressão de serviço permitiu observar que as curvas características de vazão permaneceram dentro dos limites de controle (Figura 5).

Figura 5. Controle de qualidade de Sewhart: vazão nominal (QN), limite superior (UCL), limite inferior de especificação (LCL) em função das pressões de serviço.



O modelo da vazão em função da condutividade elétrica da água de irrigação envolve duas soluções gerais (y_1 e y_2) dependentes da variável independente x (condutividade elétrica da água de irrigação) sendo a derivada destas soluções gerais e proporcional à diferença entre

a segunda derivada e a primeira derivada da vazão, em função da condutividade elétrica da água de irrigação, as quais são dependentes de parâmetros a, b, c e d.

O modelo da vazão em função da condutividade elétrica da água de irrigação (salinidade) adequou-se de maneira satisfatória ($R^2 \geq 98\%$), em todas as pressões utilizadas nos ensaios (59, 98, 137 e 157 kPa). Assim, o modelo definido pelas equações 8, 9 e 10 mostrou-se eficiente na previsão de vazão sob diferentes níveis de salinidade.

$$y_1 \rightarrow \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + a^2 y = 0 \quad \begin{cases} k_1 = -b \\ k_2 = -a b \end{cases} \quad (8)$$

$$y_2 \rightarrow \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + c^2 y = 0 \quad \begin{cases} k_3 = c d \\ k_4 = -d \end{cases} \quad (9)$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - \frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial y_1}{\partial x} + \frac{\partial y_2}{\partial x} \quad (10)$$

em que:

y – vazão ($L h^{-1}$);

x - condutividade elétrica da água de irrigação ($dS m^{-1}$);

y_1 e y_2 – soluções gerais;

a, b, c e d – constantes arbitrárias.

Na pressão de 59 kPa a vazão mínima e máxima foram, respectivamente, 2,0 e 2,1 $L h^{-1}$, estas vazões foram obtidas no nível de salinidade de 1,2 e 2,6 $dS m^{-1}$, respectivamente, sendo que, estes valores de vazão foram 3,7% menor e 1,9% maior em relação a aplicação de água com 0 $dS m^{-1}$ (Figura 6A).

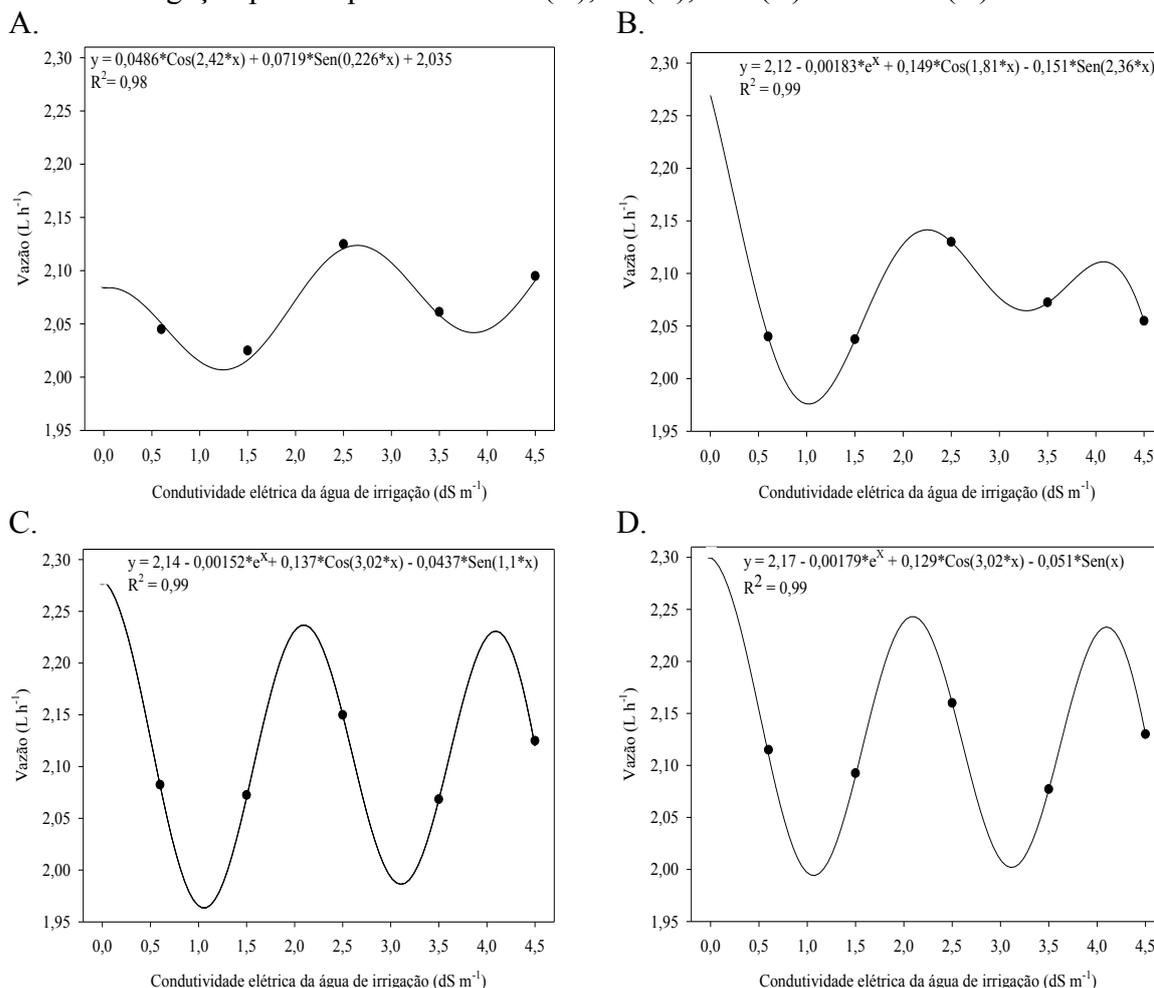
Na pressão de 98 kPa a vazão mínima obtida foi igual a 1,98 $L h^{-1}$ e a máxima igual a 2,27 $L h^{-1}$, estas vazões foram obtidas, respectivamente, nos níveis de salinidade de 1,0 e 0 $dS m^{-1}$, sugerindo que a redução de vazão foi principalmente devido ao efeito da salinidade, conseqüentemente a vazão mínima foi 14,1% inferior a vazão nominal, enquanto que a vazão máxima foi praticamente equivalente a vazão nominal (Figura 6B).

A vazão variou de 12,9, 6,2, 8,7 e 9,5%, em função dos níveis de salinidade de 0,6, 1,5, 3,5 e 4,5 $dS m^{-1}$, comparativamente à vazão observada em 0 $dS m^{-1}$, confirmando que o nível de salinidade teve impacto negativo na vazão. Lima et al. (2014) observaram que o CVf para os emissores novos não foi influenciado pela salinidade da água utilizada, porém com 210 horas de funcionamento a salinidade da água aplicada influenciou, de forma significativa.

Na pressão de 137 kPa a vazão mínima e máxima foi de 1,96 e 2,28 $L h^{-1}$ no nível de salinidade de 1,1 e 0 $dS m^{-1}$ respectivamente, os quais foram próximos dos valores observados na pressão de 98 kPa, sendo que, a diferença entre a vazão máxima e mínima foi de 13,9% (pressão de 137 kPa). Nos níveis de salinidade de 0, 0,6, 1,5, 3,5 e 4,5 $dS m^{-1}$, a vazão foi de 10, 9,5, 6,4, 10 e 7,5% inferior à vazão nominal, respectivamente (Figura 6C).

Na pressão de 157 kPa a vazão mínima e máxima foi de 1,99 e 2,3 $L h^{-1}$ para salinidade de 1,1 e 0 $dS m^{-1}$. Para 0, 0,6, 1,5, 3,5 e 4,5 $dS m^{-1}$, a vazão foi aproximadamente 9,6, 9,5, 6,8, 10,6 e 8% inferior à vazão nominal, respectivamente (Figura 6D).

Figura 6. Curvas características de vazão em função da condutividade elétrica da água de irrigação para as pressões de 59 (A), 98 (B), 137 (C) e 157 kPa (D).



A dinâmica da vazão foi bastante similar para a pressão de 137 e 157 kPa, o que demonstra a existência de aumentos e quedas de vazão nos níveis de salinidade determinados, o que é devido ao processo inicial de entupimento parcial, que de forma geral tende no começo a apresentar este comportamento oscilatório, principalmente em maiores pressões, mas que com a evolução deste processo diminui a amplitude. Cunha et al. (2014a) verificaram que em praticamente 85% dos gotejadores submetidos à fertirrigação com N e K, apresentaram algum distúrbio de vazão.

O valor de C_{pl} ficou abaixo de 1,1, valor este que para análise de curto prazo, garante que quando as causas de variações adicionais acontecerem, o C_{pl} será menor ou igual a 1,0. Justi, Vilas Boas e Sampaio (2010) concluíram que o índice de capacidade do processo mostrou-se capaz de diagnosticar se a irrigação tem capacidade de se manter sob controle e constante, ou seja, se será capaz de manter níveis aceitáveis de uniformidade.

O coeficiente de variação de fabricação foi classificado como excelente (<5%), conforme classificação proposta por American Society of Agricultural Engineers (2009). Já a vazão entre os níveis de salinidade apresentou uma diferença mais acentuada, principalmente em comparação com a condutividade elétrica da água (CEa) para o gotejador novo, consequentemente foi verificada a maior diferença média de 8% entre o gotejador novo e o nível de salinidade 1,5 dS m^{-1} (Tabela 2).

Tabela 2. Vazão média, coeficiente de variação de fabricação e índice de capacidade de processo em relação aos níveis de condutividade elétrica da água de irrigação

CEa	Vazão média	CVf	CV	C _{pl}
dS m ⁻¹	L h ⁻¹	%	%	-
Novo	2,24	0,7	4,2	1,00
0,6	2,07	1,5	3,4	0,55
1,5	2,06	1,9	3,7	0,44
2,5	2,14	1,0	2,7	1,06
3,5	2,07	1,6	3,8	0,49
4,5	2,10	1,7	2,9	0,73
Média	2,11	1,37	3,4	0,71

C_{pl}: Índice de capacidade de processo; CVf: Coeficiente de variação de fabricação; CV: Coeficiente de variação; CEa: Condutividade elétrica da água.

Martins (2007) ressalta que diversos gotejadores em uso comercial, possuem uma sensibilidade própria ao entupimento, por isso são necessários diversos critérios para a seleção dos emissores. A susceptibilidade ao entupimento caracteriza-se como um dos fatores que interfere nestes critérios (BATISTA et al., 2006). Dessa forma, podemos observar que o tubo gotejador utilizado neste ensaio apresentou pouca suscetibilidade ao entupimento dentro do tempo e das condições de realização do experimento.

6 CONCLUSÕES

Os níveis de salinidade de 0,6, 1,5, 3,5 e 4,5 dS m⁻¹, provocaram entupimento parcial nas pressões de 98, 137 e 157 kPa.

Na pressão de 59 kPa, o decréscimo na vazão foi devido tanto ao níveis de salinidade quanto a redução da pressão.

A uniformidade de distribuição de água foi excelente (>94%) para todos os níveis de salinidade e de pressão.

O tubo gotejador pode ser recomendado para condutividade elétrica da água de irrigação de até 4,5 dS m⁻¹, entretanto são necessários estudos com períodos de exposição prolongados.

7 REFERÊNCIAS

AIROLDI, R. P. S. **Análise do desempenho de gotejadores e da prevenção do entupimento com água residuária.** 2007. 76 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Standards engineering practices data:** EP405.1. Design and installation of microirrigation systems. St. Joseph, 2009.

BATISTA, R. O.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E. C. Influência da aplicação de esgoto sanitário tratado no desempenho de um sistema de irrigação por

gotejamento montado em campo. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 28, n. 2, p. 213-217, 2006.

BRAUER, R. L. **Dinâmica de entupimento de gotejadores em função da aplicação de água rica em ferro**. 2010. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

CARARO, D. C.; BOTREL, T. A.; HILLS, D. J.; LEVERENZ, H. L. Analysis of clogging in drip emitters during wastewater irrigation. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 22, n. 2, p. 251-257, 2006.

COELHO, R. D. **Contribuições para a irrigação pressurizada no Brasil**. 2007. 192 f. Tese (Livre-Docência)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

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.

CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; CARVALHO, J. J.; MOURA, L. M. de F. MELO, S. R. P. de. Uniformidade de aplicação de fertilizantes sob um sistema de gotejamento subsuperficial. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 8, n. 5, p. 391-402, 2014a.

CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; RIBEIRO, P. H. P.; MOURA, L. M. F.; SANTOS, C. C. Repetibilidade de um sistema de irrigação por gotejamento sob entupimento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 8, n. 4, p. 343-353, 2014b.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

JUSTI, A. L.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C. Índice de capacidade do processo na avaliação da irrigação por aspersão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 264-270, 2010.

LAPERUTA NETO, J.; CRUZ, R. L.; LAPERUTA FILHO, J.; PLETSCH, T. A. Perda de carga em mangueiras gotejadoras novas e usadas. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 3, p. 329-338, jul./ set. 2011.

LIMA, S. C. de; MATOS, R. M. de; GOMES, R. de C. B.; SILVA, P. F. da; DANTAS NETO, J. Coeficiente de variação de fabricação em gotejador autocompensante utilizando água salina. **Revista Brasileira de Educação Agrícola Superior**, Brasília, DF, v. 29, n. 1, p. 11-14, 2014.

MARTINS, C. C. **Efeito da cloração orgânica na uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação por gotejamento utilizando água ferruginosa**. 2007. 99 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

MÉLO, R. F. **Dinâmica e controle do entupimento de gotejadores em função de precipitados químicos e plâncton**. 2007. 189 f. Tese (Doutorado em Agronomia/ Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

MÉLO, R. F. de; COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M. B. Entupimento de gotejadores convencionais por precipitados químicos de carbonato de cálcio e magnésio, com quatro índices de saturação de Langelier. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 4, p. 525-539, 2008.

MERCANTE, E.; VILAS BOAS, M. A.; SILVA, B. B. da; KLEIN, M. R. Utilização de gráficos de controle estatístico na irrigação. **REMEA - Revista Eletrônica do Mestrado de Educação Ambiental**, Rio Grande, maio, 2014. Número especial.

RIBEIRO, P. A. de A.; TEIXEIRA, M. B.; COELHO, R. D.; FRANCO, E. M.; SILVA, N. F. da; CARVALHO, L. C. C. de; ALVES, M. E. B. Gotejadores submetidos a condições críticas de qualidade da água. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 368-379, 2012. Edição especial.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soil**. Washington, DC: US Department of Agriculture, 1954. 160 p. (USDA Agriculture Handbook).

SILVA, P. F. da; MATOS, R. M. de; LIMA, S. C. de; DANTAS NETO, J.; LIMA, V. L. A. de. Controle estatístico e índice de capacidade de processo em emissores autocompensante utilizando água salina. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 4, n. 1, p. 139-150, 2015.

TEIXEIRA, M. B. **Efeitos de dosagens extremas de cloro e pH na vazão de gotejadores autocompensantes: irrigação localizada**. 2006. 322 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

TEIXEIRA, M. B.; MELO, R. F. de; COELHO, R. D.; RETTORE NETO, O.; RIBEIRO, P. A. de A. Tratamento para desentupimento de gotejadores convencionais. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 2, p. 235-248, 2008.