

## SIMULAÇÃO DO GRADIENTE DE ENERGIA DA LINHA LATERAL COM MICROASPERSORES

Victor Gurgel Pessoa (UFRPE) E-mail: [victor.pessoa@outlook.com](mailto:victor.pessoa@outlook.com)  
Marcela Daniela Mollericona Alfaro (UFRPE) E-mail: [marcela.mollericona@yahoo.com](mailto:marcela.mollericona@yahoo.com)  
Gabriel Siqueira Tavares Fernandes (UFRPE) E-mail: [agrogabrielt@gmail.com](mailto:agrogabrielt@gmail.com)  
Kenny Ruben Montalvo Morales (UFRPE) E-mail: [kennymontalvo31@gmail.com](mailto:kennymontalvo31@gmail.com)  
Artur Sousa Silva (ESALQ) E-mail: [artur.agro@usp.br](mailto:artur.agro@usp.br)  
Tomás Guilherme Pereira da Silva (UFAL) E-mail: [tomas-g@hotmail.com](mailto:tomas-g@hotmail.com)

**Resumo:** A irrigação se caracteriza como uma tecnologia que está frequentemente apresentando inovações, capazes de proporcionar elevados níveis de desempenho dos sistemas. A irrigação localizada, por irrigar apenas a área ocupada pelas plantas, traz benefícios em relação aos demais métodos de irrigação, como, por exemplo, na economia de água, devido a menor aplicação. Assim, o objetivo do presente trabalho foi simular o perfil da distribuição de pressão e vazão ao longo da linha lateral de três emissores tipo microaspersor. O dimensionamento do projeto foi realizado a partir de simulações matemáticas para três microaspersores. Para simulação do perfil de pressão, adotou-se o modelo de dimensionamento proposto por Wu e Gitlin, sendo calculados a vazão dos emissores, a vazão total da linha lateral, a viscosidade cinemática da água, a perda de carga, o fator de correção, a perda de carga no trecho e a perda de carga unitária. Além disso, determinou-se o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), o Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE) e o Coeficiente de Variação de Fabricação ( $CV_f$ ). A variação da pressão e da vazão dos três microaspersores exerceu influência direta na uniformidade de aplicação de água no decurso da linha lateral, resultando em valores de "x" no intervalo de 0,506 a 0,515, podendo esses coeficientes de descarga serem classificados como plenamente turbulentos. Todos os CUC, CUD e CUE foram classificados como "excelentes". O  $CV_f$ , para os três microaspersores, foi considerado como "bom", não influenciando assim no desempenho hidráulico destes.

**Palavras-chave:** Hidráulica, irrigação localizada, modelo matemático.

## SIMULATION OF THE ENERGY GRADIENT OF THE LATERAL LINE WITH MICRO-SPRINKLERS

**Abstract:** Irrigation is characterized as a technology that is frequently presenting innovations, capable of providing high levels of system performance. Localized irrigation, by irrigating only the area occupied by plants, brings benefits in relation to other irrigation methods, such as, for example, in water savings, due to less application. Thus, the objective of the present work was to simulate the profile of the pressure and flow distribution along the lateral line of three microsprinkler type emitters. The design of the project was carried out from mathematical simulations for three microsprinklers. For the simulation of the pressure profile, the sizing model proposed by Wu and Gitlin was adopted, being calculated the flow of the emitters, the total flow of the lateral line, the kinematic viscosity of the water, the pressure drop, the correction factor, the head loss in the section and the unit head loss. In addition, Christiansen's Uniformity Coefficient (CUC), Distribution Uniformity Coefficient (CUD), Statistical Uniformity Coefficient (CUE) and Manufacturing Variation Coefficient ( $CV_f$ ) were determined. The pressure and flow variation of the three microsprinklers exerted a direct influence on the uniformity of water application along the lateral line, resulting in values of "x" in the range of 0.506 to 0.515, and these discharge coefficients can be classified as fully turbulent. All CUC, CUD and CUE were rated "excellent". The  $CV_f$ , for the three microsprinklers, was considered as "good", thus not influencing their hydraulic performance.

**Keywords:** Hydraulics, localized irrigation, mathematical model.

### 1. Introdução

A crescente demanda por alimentos tem sido um grande desafio para o setor agrícola devido à escassez de água e ao manejo inadequado dos sistemas de irrigação

(BEKCHANOV et al., 2016; SUN et al., 2019). Deste modo, a otimização do sistema de irrigação, bem como o planejamento da agricultura irrigada, tornam-se indispensáveis, no sentido de conciliar os vários usos da água, monitorando a quantidade e qualidade dos recursos hídricos (SILVA et al., 2016).

Os sistemas de irrigação localizada configuram uma das alternativas mais promissoras para a reposição de água das culturas e minimização das perdas hídricas (KOOPMAN et al., 2017). A irrigação localizada é mais promissora quando comparada as demais, visto que a aplicação da água ocorre próxima ao sistema radicular das culturas, além de ser um método mais econômico, cuja eficiência gira em torno de 90%, enquanto que o sistema por aspersão atinge de 75 a 85% de eficiência (MACEDO et al., 2010; DANOLE e PATIL, 2015).

A irrigação localizada subdivide-se em irrigação por microaspersão e por gotejamento (MACEDO et al., 2010). A microaspersão caracteriza-se pela aplicação de água no solo com baixa intensidade e alta frequência, através de microaspersores (SARAIVA et al., 2014), sendo desenvolvida com a finalidade de assegurar o suprimento de água em quantidade e por períodos adequados, com uniformidade de distribuição aceitável em toda a área irrigada (FRANCO et al., 2019).

O dimensionamento de um sistema de irrigação é um dos principais fatores que garantem aplicação eficiente de água no solo. Assim, para um manejo eficiente deste, deve-se levar em consideração as perdas de carga promovidas pelos constituintes do sistema, características do fluido, velocidade de fluxo e fatores externos do ambiente, como temperatura e pressão (WU et al., 2014; CHAMBA et al., 2019).

Outros fatores que garantem a eficiência de um sistema de irrigação são o tipo de emissor utilizado e os dados fornecidos pelos fabricantes. Hezarjaribi et al. (2008), ao estudarem o desempenho hidráulico de emissores, observaram que os projetos de irrigação localizada devem se basear em dados de testes confiáveis e não apenas nas especificações dos fabricantes. Logo, tornam-se necessários estudos que forneçam informações acerca das características hidráulicas de emissores.

Sendo assim, para os cálculos de dimensionamento hidráulico, em sistemas de irrigação, o uso de equações explícitas tem sido muito estudado com o propósito de simplificar os cálculos e comparar metodologias que sejam mais adequadas para condições de ensaios hidráulicos (SOUZA e DANTAS NETO, 2014).

Portanto, objetivou-se simular, por meio de modelos matemáticos, o dimensionamento de linhas laterais instaladas em nível com três microaspersores, como alternativa para o conhecimento do desempenho de distribuição de pressão ao longo da linha lateral e seu efeito na uniformidade de emissão.

## **2. Materiais e métodos**

O gradiente de energia para avaliar o desempenho da linha lateral, neste estudo, foi dimensionado a partir de simulações matemáticas para três emissores do tipo microaspersor, cujas características são apresentadas na Tabela 1 (dados fornecidos pelos fabricantes, ou seja, Amanco - microaspersor 1 e Naandanjain Irrigation CS Ltda - microaspersores 2 e 3).

Tabela 1 - Especificações dos três microaspersores utilizados

Especificações do microaspsor		Pressão de serviço (m.c.a)				
		10	15	20	25	30
Número do microaspsor	D (mm)	q (L h <sup>-1</sup> )				
1	1,4	63	78	90	101	111
2	1,41	74	90	105	117	129
3	1,44	77	96	110	124	136

A linha lateral simulada tem como características ser de polietileno, em condições de tubo liso. Além disso, adotou-se como critério prático a variação máxima de pressão de 20% na linha lateral de irrigação (KELLER e BLIESNER, 1990).

A partir dos dados de entrada para o desenvolvimento do projeto dos microaspersores (Tabela 2), realizou-se as simulações hidráulicas para o dimensionamento da linha lateral, que, por sua vez, utilizou-se de dados obtidos a partir dos catálogos dos fabricantes dos microaspersores.

Tabela 2 - Valores de entrada no dimensionamento dos três microaspersores

Variáveis	Unidade de medida	Valores
H	m.c.a	20
N	unid.	30
Se	m	3
d	m	0,0161
T	°C	20
m	-	1,75
hf	%	20

H: Pressão média ou de serviço N: Número de microaspersores; Se: Espaçamento entre microaspersores; d: Diâmetro da Linha Lateral Tubo PELBD PN 20; T: Temperatura da água; m: Expoente da vazão (adimensional); hf: Perda de carga na tubulação.

Para simulação do perfil de pressão ao longo da linha lateral, foi adotado o modelo de dimensionamento proposto por Wu e Gitlin (1975), que é expresso como:

$$H_i = H_0 - (1 - (1 - \frac{l}{L})^{m+1}) * hf \quad (1)$$

Em que:  $H_i$  – energia de pressão no  $i$  emissor (m.c.a);  $l$  – posição do microaspsor ao longo da linha lateral (m),  $L$  – comprimento total da linha lateral (m),  $m$  – coeficiente da vazão na equação em uso;  $hf$  – perda de carga total na linha (m.c.a.).

Conforme o modelo de Wu e Gitlin (1975), os dados necessários para o dimensionamento do projeto foram calculados a partir do software Microsoft Excel 2016. Dessa forma, os dados calculados foram: vazão dos emissores ( $q$ ), vazão total da linha lateral ( $Q$ ) composta por 30 microaspersores, viscosidade cinemática da água ( $\nu$ ), perda de carga ( $hf$ ), fator de correção, perda de carga no trecho ( $hf$ ), perda de carga

unitária (J). De posse dos dados calculados, obteve-se, posteriormente, o diâmetro da linha lateral (L) e para declividade, assumiu-se um valor de 0.

A vazão dos emissores foi determinada em função da pressão de operação pela equação proposta por Keller e Karmeli (1974):

$$q = k * H^x \quad (2)$$

Em que: q – fluxo do emissor ( $l \cdot h^{-1}$ ); k – coeficiente de descarga (característico de cada emissor - adimensional); H – energia de pressão na entrada do emissor (m.c.a), x – expoente da descarga do emissor que expressa a sensibilidade dos emissores às variações de pressão (dados fornecidos pelo fabricante - Tabela 1).

A descarga total da linha lateral pôde ser obtida com a seguinte equação:

$$Q = \frac{q * L}{S_e} \quad (3)$$

Em que: Q – vazão total da linha lateral ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ); q – fluxo do emissor em ( $l \cdot h^{-1}$ ); L – comprimento da linha lateral (m);  $S_e$  – espaçamento entre os emissores (m).

O fator de correção (Fc), proposto por Wu e Gitlin (1975), é apresentado na Equação 4, a partir do qual foi possível obter a perda de carga na tubulação de múltiplas saídas.

$$F_c = \frac{1}{m+1} \quad (4)$$

Em que: Fc – fator de correção (adimensional); m – expoente da vazão na equação de perda de carga (adimensional).

Para determinação da perda de carga utilizou-se a Equação 5:

$$h_f = \frac{24,6110 * 10^{-3} * Q^{1,75} * L}{\mu^{0,25} * D^{4,75}} \quad (5)$$

Em que:  $h_f$  – Perda de carga em tubulação de vazão constante (m.c.a); Q – Vazão do sistema ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ); L – Comprimento da linha (m); g – Aceleração da gravidade ( $m \cdot s^{-2}$ ); D – Diâmetro da tubulação (m);  $\nu$  – Viscosidade cinemática da água, ( $m^2 \cdot s^{-1}$ ).

A avaliação das diferenças individuais entre os microaspersores ocorridas durante o processo de fabricação foi realizada por meio da determinação do coeficiente de variação de fabricação ( $CV_f$ ) (equação 6):

$$CV_f = \frac{S_q}{\bar{q}} \quad (6)$$

Em que:  $CV_f$  – Coeficiente de variação de fabricação (%);  $S_q$  – Desvio padrão da vazão dos emissores;  $\bar{q}$  – Média das vazões observadas ( $L \cdot h^{-1}$ ).

Para expressar a variabilidade da distribuição da água na irrigação, neste estudo, calcularam-se o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), o Coeficiente de

Uniformidade de Distribuição (CUD) e o Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE).

O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) é calculado pela equação de Christiansen (1942):

$$CUC = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}|}{n * \bar{q}} \right] \quad (7)$$

Em que:  $q_i$  – vazão em cada emissor ( $L h^{-1}$ );  $\bar{q}$  – vazão média dos emissores ( $L h^{-1}$ );  $n$  – número de emissores.

O Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), que representa a razão entre as vazões mínima e média dos emissores, foi calculado com base na equação proposta por Keller e Karmeli (1974):

$$CUD = 100 * \frac{q_n}{\bar{q}} \quad (8)$$

Em que:  $q_n$  – média das 25% menores vazões observadas;  $\bar{q}$  – média de todas as vazões observadas

O cálculo do Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE) tomou como base a equação proposta por BRALTS et al. (1987):

$$CUE = 100(1 - CV_q) = 100 \left( 1 - \frac{S_q}{\bar{q}} \right) \quad (9)$$

Em que:  $CV_q$  – Coeficiente de variação da vazão do emissor (%);  $S_q$  – Desvio padrão da vazão do emissor ( $L h^{-1}$ );  $\bar{q}$  – Média das vazões observadas ( $L h^{-1}$ ).

### 3. Resultados e discussão

No que se refere ao gradiente de energia na linha lateral, as características hidráulicas relacionadas, bem como as equações adaptadas para os emissores, estão dispostas na Figura 1. Observou-se a partir dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) um bom ajuste dos dados aos modelos obtidos.

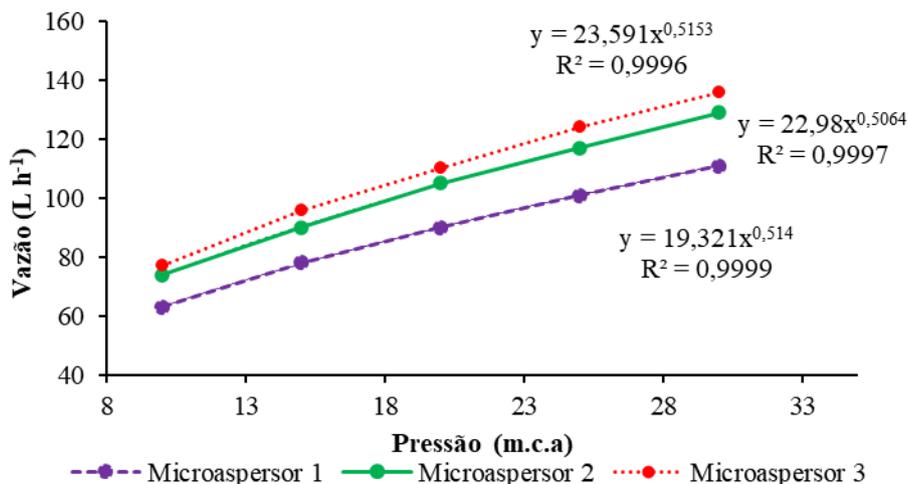


Figura 1- Análise de regressão entre a energia de pressão (H) e a vazão (q) dos microaspersores 1, 2 e 3. As curvas características dos microaspersores 1, 2 e 3, cujos ajustes resultaram em valores de ‘x’ iguais a 0,514; 0,5064 e 0,5153, respectivamente, estão no intervalo de  $0,5 < x < 1,0$ , onde o regime encontra-se mais próximo do turbulento ao laminar (PIZARRO, 1990), verificando-se maior influência das variações de pressão sobre a vazão. Portanto, os fluxos em questão podem ser classificados como plenamente turbulentos, ou seja, os microaspersores não são autocompensantes e não mantêm a pressão e a vazão, quando há alterações externas, provocando desuniformidade na vazão (SARAIVA et al, 2014).

O microaspersor de menor diâmetro (microaspersor 1) foi o que apresentou o menor valor de expoente em comparação aos outros dois microaspersores, sendo então o mais indicado para seu uso, considerando apenas este critério de escolha.

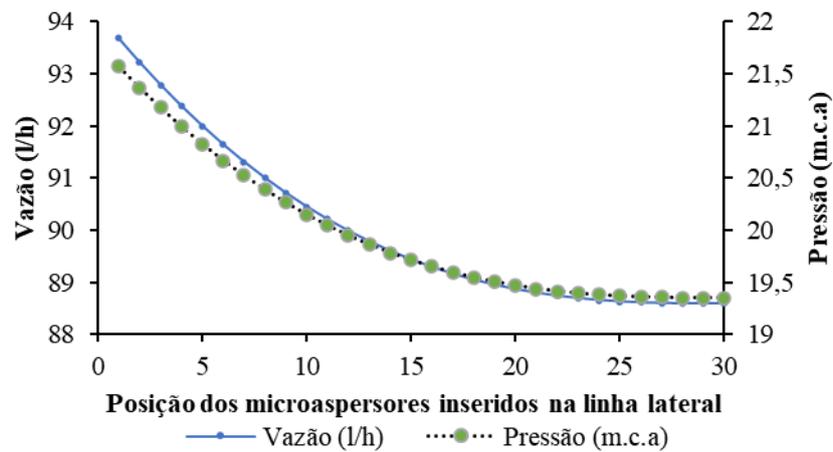
Relacionado ao gradiente de pressão e vazão estudados, observou-se que estes decresceram ao longo da linha lateral, para os três microaspersores (Tabela 3; Figura 2). Assim, verificou-se que para vazão houve uma variação de 5, 6 e 8% entre o primeiro e último emissor dos microaspersores 1, 2 e 3, respectivamente. Ao passo que para pressão ocorreu uma variação de 10, 13 e 14% para os microaspersores 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 3 - Simulação da Pressão - Vazão na linha lateral para os três microaspersores de acordo com Wu e Gitlin (1975)

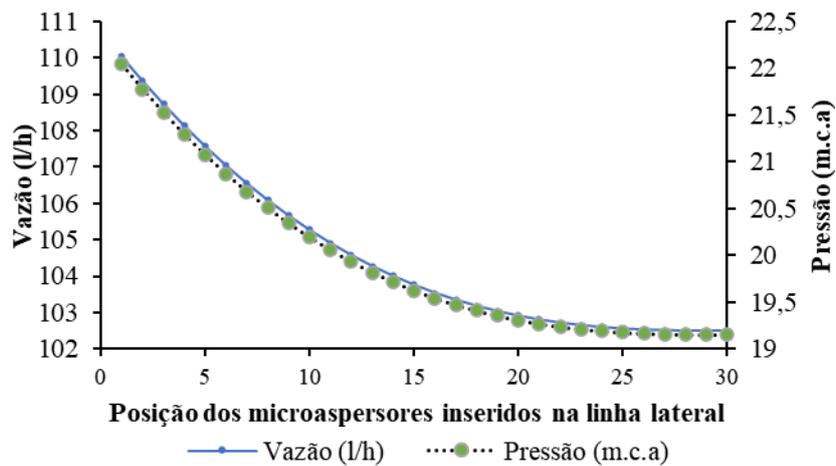
N	Se	Microaspersor 1		Microaspersor 2		Microaspersor 3	
		q (L h)	H (m.c.a)	q (L h)	H (m.c.a)	q (L h)	H (m.c.a)
1	3,00	93,839	21,643	110,290	22,139	116,948	22,346
2	6,00	93,362	21,429	109,586	21,861	116,122	22,041
3	9,00	92,911	21,229	108,921	21,599	115,341	21,754
4	12,00	92,487	21,040	108,293	21,354	114,605	21,486
5	15,00	92,089	20,865	107,704	21,125	113,912	21,235
6	18,00	91,716	20,701	107,151	20,912	113,263	21,000
7	21,00	91,368	20,548	106,635	20,713	112,657	20,783
8	24,00	91,044	20,407	106,154	20,529	112,092	20,581
9	27,00	90,745	20,276	105,709	20,360	111,568	20,394

10	30,00	90,468	20,156	105,297	20,203	111,083	20,223
11	33,00	90,214	20,046	104,918	20,060	110,638	20,066
12	36,00	89,982	19,946	104,572	19,929	110,230	19,923
13	39,00	89,770	19,855	104,257	19,811	109,859	19,793
14	42,00	89,579	19,773	103,971	19,704	109,523	19,675
15	45,00	89,408	19,699	103,715	19,608	109,221	19,570
16	48,00	89,255	19,634	103,486	19,523	108,952	19,477
17	51,00	89,119	19,576	103,284	19,448	108,713	19,394
18	54,00	89,001	19,525	103,107	19,382	108,505	19,322
19	57,00	88,899	19,482	102,954	19,325	108,324	19,260
20	60,00	88,811	19,444	102,823	19,277	108,170	19,206
21	63,00	88,738	19,413	102,713	19,236	108,040	19,162
22	66,00	88,677	19,387	102,622	19,202	107,933	19,125
23	69,00	88,629	19,367	102,549	19,176	107,848	19,096
24	72,00	88,591	19,350	102,493	19,155	107,781	19,073
25	75,00	88,563	19,338	102,450	19,139	107,731	19,055
26	78,00	88,543	19,330	102,420	19,128	107,695	19,043
27	81,00	88,530	19,325	102,401	19,121	107,673	19,035
28	84,00	88,523	19,321	102,390	19,117	107,660	19,031
29	87,00	88,520	19,320	102,386	19,115	107,655	19,029
30	90,00	88,519	19,320	102,385	19,115	107,654	19,029
<b>Média</b>		89,997	19,958	104,588	19,946	110,246	19,940
<b>DP</b>		1,634	0,711	2,431	0,925	2,860	1,015
<b>q<sub>min</sub> (25%)</b>		88,552	19,334	102,434	19,133	107,712	19,049
<b>CUD</b>		98,395	96,873	97,941	95,926	97,701	95,530
<b>CV<sub>f</sub></b>		0,018	0,036	0,023	0,046	0,026	0,051
<b>CUE</b>		98,184	96,440	97,675	95,363	97,406	94,911
<b>CUC</b>		98,498	-	98,076	-	97,852	-

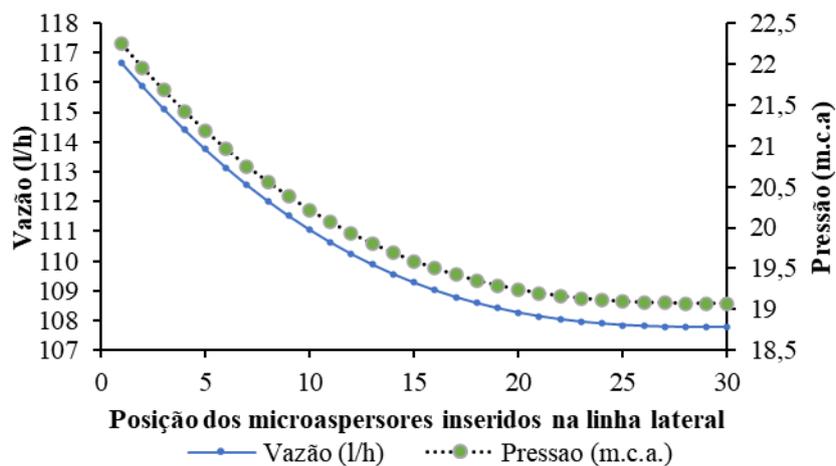
N: número de microaspersores; Se: espaçamento entre os microaspersores; q: vazão do cada emissor ao longo da linha lateral; H: pressão em cada emissor ao longo da linha lateral; DP: Desvio Padrão; q<sub>min</sub>: Vazão mínima; CUD: Coeficiente de Uniformidade de Distribuição; CV<sub>f</sub>: Coeficiente de Variação de Fabricação; CUE: Coeficiente de Uniformidade Estatístico; CUC: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen.



(a)



(b)



(c)

Figura 2 - Relação vazão versus pressão na linha lateral na posição dos microaspersores 1 (a), 2 (b) e 3 (c).

Em estudos recentes, analisando a simulação do gradiente da linha lateral, observaram-se resultados semelhantes, ou seja, a relação vazão-pressão decresceu ao longo da linha de emissores (BATISTA et al., 2017; SILVA et al., 2017; PINHEIRO et al., 2019; FERNANDES et al., 2022). Nota-se que a aplicação da lâmina de irrigação ao longo da linha lateral está diretamente relacionada com a variação de pressão e vazão dos emissores, logo, alterações na pressão ocasionadas pela perda de carga ocasionará variação na vazão (SILVA e SILVA, 2005; MARQUES e CAMPECHE, 2012).

Adicionalmente, é válido destacar que a variação de pressão e vazão dos emissores pode ser provocada a partir de perdas de energia por atrito e pelas inserções dos emissores, do ganho ou perda de energia devido à topografia da superfície do solo, e da qualidade da matéria prima e dos processos de fabricação dos emissores (KELLER e KARMELI, 1974).

Quanto à pressão de serviço, os microaspersores devem funcionar dentro dos limites de pressão especificados pelos fabricantes, pois pressão muito alta provoca uma excessiva pulverização do jato, o que diminui o raio de alcance e causa uma excessiva precipitação próxima ao emissor. Por outro lado, pressão muito baixa também resulta em má distribuição da água (SILVA e SILVA, 2005).

De acordo com a classificação de Bralts (1986), os Coeficientes de Uniformidade de Distribuição (CUD) obtiveram classificação excelente, tanto em pressão como vazão para os três microaspersores estudados, pois obtiveram valores de uniformidade  $\geq 90\%$ . Em simulações teórico-hidráulicas realizadas em outros trabalhos também obteve-se CUD classificados como excelentes (SARAIVA et al., 2014; BATISTA et al., 2017; PINHEIRO et al., 2019).

Baixo valor de CUD presume que uma excessiva perda de água por percolação poderá ocorrer, se toda a área de plantio receber uma lâmina maior do que a real necessária. Além disso, a desuniformidade de microaspersores é ocasionada, principalmente, pela falta de manutenção, mal dimensionamento do sistema de irrigação ou uso há determinado tempo. Como consequência, as necessidades hídricas das plantas não serão atendidas (SILVA e SILVA, 2005).

Em relação ao Coeficiente de Variação na Fabricação ( $CV_f$ ) dos emissores, os valores obtidos foram de 0,018 para o microaspersor 1 (diâmetro=1,4 mm), de 0,023 no caso do microaspersor 2 (diâmetro=1,41 mm) e de 0,026 para o microaspersor 3 (diâmetro=1,44 mm) (Tabela 3), que de acordo com a classificação da American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 1985), correspondem à categoria “bom”, onde os critérios gerais para fonte pontual são: bom ( $< 0,05$ ); médio (0,05 a 0,10); marginal (0,10 a 0,15) e inaceitável ( $>0,15$ ). Vale destacar que o conhecimento deste coeficiente é fundamental, tendo em vista que poucos catálogos permitem a avaliação do  $CV_f$ .

A informação acerca do coeficiente de variação de fabricação consiste em um dos fatores mais significativos que influenciam a uniformidade dos sistemas de irrigação localizada e, as únicas causas de variação deste coeficiente, são devidas aos efeitos construtivos (ANDRADE, 2005), como, por exemplo, a variação durante a fabricação e os aspectos de design dos emissores (FRIZZONE e DOURADO NETO, 2003).

No que diz respeito aos valores do Coeficiente de Uniformidade Estatística (CUE) para a pressão e vazão, estes podem ser classificados como excelentes, para os três microaspersores estudados (Tabela 3), pois de acordo com Bralts (1986), os coeficientes estatísticos podem ser classificados como: excelente ( $\geq 90\%$ ); muito bom (80-90%); regular (70-80%); ruim (60-70%) e inaceitável ( $< 60\%$ ).

Quanto ao Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), todos os três microaspersores demonstraram valores elevados (Tabela 3). Conforme Zocoler (1999), o ideal é que em sistemas de irrigação localizada, a uniformidade atinja um valor de CUC superior a 90%. Isso significa dizer que aproximadamente 90% da área receberá uma lâmina superior ou igual à lâmina média de aplicação (SARAIVA et al., 2014).

#### 4. Conclusões

Os microaspersores apresentaram boas características hidráulicas a partir dos coeficientes de descargas.

Apesar dos bons índices de uniformidade de eficiência (CUC, CUE e CUD) estarem classificados como “Excelentes”, faz-se necessário à observação do teste em campo para a validação do comportamento do projeto.

As simulações matemáticas podem ser essenciais para um dimensionamento hidráulico adequado e eficaz dos sistemas de irrigação localizada. No entanto, é necessário validar tais simulações em campo para destacar a boa eficiência dos modelos e do tipo microaspersor.

#### 5. Referências

- ANDRADE, L. *Avaliação Hidráulica e de resistência a tração de dois modelos de mangueiras gotejadoras*. 2005. 76 p. Dissertação (Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.
- ASAE - **American Society of Agricultural Engineers**. *Design, installation and performance of trickle irrigation systems*. ASAE standard EP 405, St. Joseph, Michigan, p. 507-510, 1985.
- ARSENYEVA, O.; TRAN, J. & KENIG, E.Y. *Thermal and hydraulic performance of pillow-plate heat exchangers*. Computer Aided Chemical Engineering, v. 43, p. 181–186, 2018.
- BATISTA, P. H. D.; BARROS, B. E. A.; SILVA, J. L. B.; PINHEIRO, A. B. & COUTINHO, A. S. *Simulação do comportamento hidráulico de microaspersores e microtubos ao longo da linha lateral*. Tecnologia & Ciência Agropecuária, v. 11, n. 1, p. 67-71, 2017.
- BRALTS, V. F. *Field performance and evaluation*. Developments in Agricultural Engineering, v. 9, p. 216 - 240, 1986.
- BEKCHANOV, M.; RINGLER, C.; BHADURI, A. & JEULAND, M. *Optimizing irrigation efficiency improvements in the Aral Sea Basin*. Water Resources and Economics, v. 13, p. 30-45, 2016.
- CHAMBA, D., ZUBELZU, S. & JUANA, L. *Determining hydraulic characteristics in laterals and drip irrigation systems*. Agricultural Water Management, v. 226, p. 105791, 2019.
- CHRISTIANSEN, J. E. *Irrigation by sprinkling*. Berkeley: California Agricultural Station, 1942. 124 p.
- DANOLE, A. S & PATIL, B. M. *Evaluation of local head loss for non pressure compensation online emitters and pressure compensating inline emitters in drip irrigation laterals*. International Journal of Emerging Research in Management & Technology, v. 4, p. 9-16, 2015.
- FERNANDES, G. S. T.; MORALES, K. R. M.; PESSOA, V. G.; OLIVEIRA, V. B.; LIMA, E. A. & SILVA, T. G. P. *Simulation of the energy gradient of the lateral line with type MF2 micro-sprinklers*. Revista Brasileira De Agricultura Irrigada, v. 16, p. 21-30, 2022.
- FRANCO, L. B.; PESSOA, U. C. M.; ALMEIDA, C. D. G. C.; ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C.; FRANCO, G. B. & FREIRE, M. M. *Simulação matemática do comportamento hidráulico do gradiente de pressão em linhas laterais de microirrigação*. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 13, n. 6, p. 3703-3713, 2019.
- FRIZZONE, J. A. & DOURADO NETO, D. *Avaliação de sistemas de irrigação e análise econômica*. In: MIRANDA, J. H. & PIRES, R. C. M. (ed.). Irrigação. Jaboticabal: FUNEP, 2003. p. 573-652, 2003.

HEZARJARIBI, A.; DEGHANI, A. A.; HELGHI, M. M. & KIANI, A. *Hydraulic performances of various trickle irrigation emitters*. Journal of Agronomy, v. 7, n. 3, p. 265-271, 2008.

KELLER, J. & BLIESNER, R. D. *Sprinkle and trickle irrigation*. Van Nostrand Reinold, New York, 1990. 652p.

KELLER, J. & KARMELI, D. *Trickle irrigation design parameters*. Transactions of ASAE, v. 17, n. 4, 678-684, 1974.

KOOPMAN, J. F.; KUIK, O.; TOL, R.S. & BROUWER, R. *The potential of water markets to allocate water between industry, agriculture, and public water utilities as an adaptation mechanism to climate change*. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, v. 22, n. 2, p. 325-347, 2017.

MACEDO, A. B. M.; GOMES FILHO, R. R.; LIMA, S. C. R. V.; VALNIR JÚNIOR, M.; CAVALCANTE JÚNIOR, J. A. H. & ARAÚJO, H. F. *Desempenho hidráulico de um sistema de irrigação por microaspersão utilizando dois tipos de emissores*. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v. 4, n. 2, p.82-86, 2010.

MARQUES, M. A. D. & CAMPECHE, L. F. D. S. M. *Caracterização hidráulica de emissores e testes de uniformidade de distribuição do sistema de irrigação por mini aspersão*. Revista Semiárido De Visu, v. 2, p. 162-175, 2012

PIMENTA, B. D.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; MEZZOMO, W.; KIRCHNER, J. H. & BEN, L. H. *Performance of explicit approximations of the coefficient of head loss for pressurized conduits*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 22, n. 5, p. 301-307, 2018.

PINHEIRO, A. G.; SILVA, J. L. B.; SILVA, D. A. O; BATISTA, P. H. D., RODRIGUES, J. A., & SILVA, M. V. M. *Mathematical simulation of the theoretical-hydraulic behavior of micro sprinklers and microtubes along the lateral line*. Revista Ambientale, v. 11, n. 2, p. 22-33, 2019.

PIZARRO, F. *Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación*. 5 ed. Madrid: Mundi, 1990. 461 p.

SARAIVA, K. R.; REBOUÇAS, R. M. & SOUZA, F. *Desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão na cultura do coqueiro*. Agropecuária Técnica, v. 35, n. 1, p. 62-68, 2014.

SILVA, C. A. & SILVA, C. J. *Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada*. Revista científica eletrônica de agronomia, v. 4, n. 8, p. 123-140, 2005

SILVA, M. V.; DIAS, I. C. G. M.; ALMEIDA, G. L. P. & SILVA, R. A. B. *Modelagem do comportamento hidráulico de microaspersores ao longo da linha lateral*. Revista de engenharia e tecnologia, v. 11, n. 1, p. 68-76, 2019.

SILVA, P. F.; MATOS, R. M.; NETO, J. D.; GOMES, R. C. B. & LIMA, V. L. A. *Characterization of the hydraulic performance of self-compensating emitters with water of different salt concentrations*. Semina: Ciências Agrárias, v. 37, n. 2, p. 639-650, 2016.

SILVA, C. A. & SILVA, C. J. *Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada*. Revista Científica Eletrônica de Agronomia, v. 4, n. 8, p.1-17, 2005.

SOUZA, J. S. C. & DANTAS NETO, J. D. *Equação explícita para cálculo do fator de atrito de Darcy-Weisbach em projetos de irrigação pressurizada*. Irriga, v. 19, n. 1, p. 137-148, 2014.

SUN, J.; LI, Y.P.; SUO, C. & LIU, Y.R. *Impacts of irrigation efficiency on agricultural water-land nexus system management under multiple uncertainties - A case study in Amu Darya River basin, Central Asia*. Agricultural Water Management, v. 216, p. 76-88, 2019.

WU, I. P. & GITLIN, H. M. *Energy gradient line for drip irrigation laterals*. Journal of the Irrigation and Drainage Division, v. 101, n. 4, p. 323-326, 1975.

WU, W.; CHEN, W.; LIU, H.; YIN, S.; BAO, Z. & NIU, Y. *A dimensional analysis model for the calculation of head loss due to disc filters in drip irrigation systems*. Irrigation and Drainage, v. 63, n. 3, 349-358, 2014.

YILDIRIM, G. *Simplified procedure for hydraulic design of small-diameter plastic pipes*. Irrigation and Drainage, v. 58, n. 2, p. 209-233, 2009.

ZOCOLER, J. L. *Avaliação de desempenho de sistemas de irrigação*. In: Fernando Braz Tangerino Hernandez; José Carlos Rossetti. (Org.). ANAIS DO I CURSO DE CAPACITAÇÃO EM

AGRICULTURA IRRIGADA. Ilha Solteira: UNESP/FEIS - Área de Hidráulica e Irrigação, p. 33-36, 1999.