

**Simulação do gradiente de energia da linha lateral com microaspersores****Simulation of side line energy gradient with microaspersors**

DOI:10.34117/bjdv6n7-429

Recebimento dos originais: 03/06/2020

Aceitação para publicação: 17/07/2020

**Taize Calvacante Santana**

Mestranda em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Instituição: Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Endereço: Rua Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife – PE, Brasil  
E-mail: taizehaes@gmail.com

**Tecla Ticiane Félix da Silva**

Mestra em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Instituição: Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Endereço: Rua Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife – PE, Brasil  
E-mail: teclaticiane12@hotmail.com

**Cristiane Guiselini**

Doutora em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, ESALQ/USP  
Instituição: Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Endereço: Rua Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife – PE, Brasil  
E-mail: cguiseli@hotmail.com

**Héilton Pandorf**

Doutor em Física do Ambiente Agrícola pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz,  
ESALQ/USP  
Instituição: Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Endereço: Rua Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife – PE, Brasil  
E-mail: hpandorf@hotmail.com

**Marcos Vinícius da Silva**

Doutorando em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Instituição: Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Endereço: Rua Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife – PE, Brasil  
E-mail: marcolino\_114@hotmail.com

**Pedro Henrique Dias Batista**

Doutorando em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Instituição: Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Endereço: Rua Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife – PE, Brasil  
E-mail: giga\_pedro@hotmail.com

**Rodes Angelo Batista da Silva**

Doutoranda em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Instituição: Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Endereço: Rua Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife – PE, Brasil

E-mail: rodesangel@gmail.com

**José Ediclécio Barbosa dos Santos**

Mestrando em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Instituição: Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Endereço: Rua Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, 57171-900, Recife – PE, Brasil  
E-mail: edicleciosantos13@hotmail.com

**Nicolý Farias Gomes**

Doutoranda em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Instituição: Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Endereço: Rua Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife – PE, Brasil  
E-mail: nicoly\_farias@hotmail.com

**Igor Leonardo Nascimento Santos**

Doutorando em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Endereço: Rua Rui Barbosa, 710, Centro, Cruz das Almas – BA, Brasil  
E-mail: igorsantos1993@gmail.com

**Sávio Duarte Lopes Cavalcanti**

Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Instituição: Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Endereço: Rua Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife – PE, Brasil  
E-mail: savio.cavalcanti@hotmail.com

**Adriel Sales Coutinho**

Mestrando em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Instituição: Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Endereço: Rua Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, 57171-900, Recife – PE, Brasil  
E-mail: adriel\_sales2009@hotmail.com

**RESUMO**

A otimização do uso da água de irrigação é uma questão imprescindível a sustentabilidade na agricultura. Neste sentido, a irrigação localizada destaca-se por sua alta eficiência na aplicação de água em relação a outros métodos. Objetivou-se com esta pesquisa avaliar o gradiente de pressão hidráulico ao longo da linha lateral de microaspersores, por meio do modelo de Wu e Gitlin. As simulações matemáticas foram desenvolvidas em planilha eletrônica, em que se determinou a descarga do emissor, a descarga total da linha lateral, a viscosidade cinemática da água, a perda de carga (total, por trecho e unitária) e o fator de correção. Foi calculado o coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) para pressão e vazão. Os microaspersores apresentaram regime de escoamento turbulento e CUE acima de 97% para pressão e de 98% para vazão, sendo considerados excelentes. Diante do exposto, a variação da pressão e da vazão dos microaspersores tem influência direta na uniformidade de aplicação de água no decurso da linha lateral. A aplicação do modelo, mostrou-se satisfatório no dimensionamento do gradiente de pressão e vazão para emissores ao longo da linha lateral, ambos com coeficiente de uniformidade próximo a 100%.

**Palavras-chave:** Hidráulica, Irrigação Localizada, Modelagem Matemática.

**ABSTRACT**

Optimizing the use of irrigation water is an essential issue for sustainability in agriculture. In this sense, localized irrigation stands out for its high efficiency in the application of water in relation to other methods. The objective of this research was to evaluate the hydraulic pressure gradient along the lateral line of micro sprinklers, using the Wu and Gitlin model. The mathematical simulations were developed in an electronic spreadsheet, in which the emitter discharge was determined, the total discharge of the lateral line, the kinematic viscosity of the water, the head loss (total, per section and unit) and the correction factor. The statistical uniformity coefficient (CUE) was calculated for pressure and flow. The micro sprinklers showed a turbulent flow regime and CUE above 97% for pressure and 98% for flow, being considered excellent. In view of the above, the variation in pressure and flow of the sprinklers has a direct influence on the uniformity of water application throughout the lateral line. The application of the model proved to be satisfactory in dimensioning the pressure and flow gradient for emitters along the lateral line, both with uniformity coefficient close to 100%.

**Keywords:** Hydraulics, Localized Irrigation, Mathematical Modeling.

**1 INTRODUÇÃO**

A produção agrícola em áreas irrigadas é influenciada por uma série de fatores, dentre eles, a eficiência do uso da irrigação é determinante e necessário para o dimensionamento e manutenção do sistema de irrigação, com ênfase as necessidades hídricas de cada cultura. Aplicações excessivas ou insuficientes de água causam prejuízos no solo por lixiviação ou perdas no rendimento das culturas e, conseqüentemente, a produtividade e a rentabilidade do agricultor (ALMEIDA, 2008). O manejo adequado do solo e o uso racional da água, representa um grande desafio em termos de planejamento. Em regiões como o Nordeste do Brasil, o manejo do solo e o uso da água requer um planejamento mais detalhado, visto que a seca na região nordeste é um grande desafio para o desenvolvimento da agropecuária regional.

A irrigação na agricultura vem como uma alternativa para suprir a demanda hídrica da cultura e maximizar a produção (HERNANDEZ, 2004). O uso de sistemas de irrigação localizada é mais promissor em relação aos demais, visto que, a aplicação da água ocorre rente ao sistema radicular das culturas, reduzindo o uso da água, além de ser um método mais econômico com eficiência em torno de 90%, ao passo que o sistema por aspersão atinge de 75 a 85% (MACEDO et al., 2010; DANOLE & PATIL, 2015). No Brasil, dentre as metodologias mais difundidas de irrigação localizada destacam-se o gotejamento e a microaspersão.

Na microaspersão, a água é aplicada numa fração do volume de solo explorado pelas raízes das plantas, de forma circular ou em faixa contínua, por meio de microaspersores (TESTEZLAF, 2017). É caracterizada por aplicar a água de forma pulverizada ou não, com ou sem movimento rotativo dos emissores (plásticos), aplicando vazões na faixa de 20 a 150 L h<sup>-1</sup>, sob pressões de serviço que variam 10 a 30 metros de coluna d'água (BERNARDO et al., 2006; ANDRADE, 2013).

A quantidade de água aplicada e a uniformidade de distribuição pelos emissores são informações importantes no dimensionamento e manejo racional de um sistema de irrigação localizada. Nestes modelos, a uniformidade de aplicação de água ao longo da linha lateral está intimamente relacionada com a variação de vazão dos emissores, sendo esta, consequência das perdas de energia pelo atrito e pelas inserções dos emissores, influenciado principalmente pela topografia da superfície (KELLER & KARMELI, 1974).

O conhecimento das características hidráulicas dos componentes é essencial para um dimensionamento correto. A relação entre vazão e pressão na entrada do microaspersor, a perda de carga localizada na inserção da linha lateral, o alcance do jato, o diâmetro e a forma dos bocais constituem as principais características hidráulicas do microaspersor (BOTREL, 1984).

De acordo com Souza & Dantas Neto (2014) o uso de equações explícitas para os cálculos de dimensionamento hidráulico, em sistemas de irrigação, tem sido muito estudado com o propósito de simplificar os cálculos e comparar metodologias que sejam mais adequadas para condições de ensaios hidráulicos.

Com base no exposto, esta pesquisa foi conduzida com o objetivo de avaliar o gradiente de pressão hidráulico ao longo da linha lateral de microaspersores, por meio do modelo de Wu e Gitlin (1975).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O sistema de irrigação foi dimensionado a partir de simulações matemáticas para avaliar a performance hidráulica do gradiente de pressão ao longo da linha lateral, para isso, foram utilizados dois microaspersores (MF 2) fabricados pela Amanco, sendo um com bocal azul claro (BAC) e o outro bocal azul escuro (BAE). Os emissores apresentam pressão de serviço média de 20 m.c.a, em que, o microaspersor com BAC possui vazão média de 159,30 L.h<sup>-1</sup> e o com BAE de 184,60 L.h<sup>-1</sup>, conforme informações disponibilizadas no catálogo do fabricante (Tabela 1).

Tabela 1. Vazão e pressão do microaspersores com os bocais azul claro e azul escuro.

BAC		BAE	
H (m.c.a)	q (L/h)	H (m.c.a)	q (L/h)
12	124,1	12	143,3
15	138,0	15	160,0
20	159,3	20	184,6
25	178,1	25	206,8
29	195,2	29	226,3
34	211,7	34	245,3

BAC: bocal azul claro; BAE: bocal azul escuro. Fonte: Catálogo do fabricante.

Foram necessárias algumas especificações dos emissores, contidas no catálogo do fabricante, para que as simulações hidráulicas e o dimensionamento da linha lateral fossem efetuados, conforme representadas na (Tabela 2).

Tabela 2. Dados de entrada para a simulação do gradiente de energia na linha lateral.

Especificações	Valores
Número de Microaspersores (N)	7 unidades
Espaçamento entre Microaspersores (Se)	3,5 m
m	1,75
Pressão de Serviço (H)	20 m.ca
Temperatura (T)	25 °C
hf'	20%

m: expoente da vazão, adimensional; hf': perda de carga na tubulação.

O modelo de dimensionamento adotado para simular o perfil de pressão ao longo da linha lateral baseou-se no proposto por Wu & Gitlin (1975). Os cálculos foram efetuados por meio de planilha eletrônica, sendo estes, descarga do microaspersor (q), que através desta calcula-se a descarga total da linha lateral ( $Q, m^3 \cdot s^{-1}$ ) constituída por 7 emissores, além da viscosidade cinemática da água ( $\nu, m^2 \cdot s^{-1}$ ), admitindo-se temperatura de 25 °C. A perda de carga ( $hf'$ , m.c.a) e o fator de correção (Fc) foram calculados para que a perda de carga por trecho (hf) pudesse ser determinada por meio da razão entre a perda de carga e o fator de correção e por consequência a perda de carga unitária ( $J, m \cdot m^{-1}$ ).

De posse destes parâmetros calculados, obteve-se o diâmetro da linha lateral (D) em milímetros e seu comprimento (L) em metros, em que assumiu-se a declividade da superfície igual a zero.

No dimensionamento de emissores, a vazão depende diretamente da pressão de operação e pode ser determinada a partir da Eq. 1, em que k e x são parâmetros de ajuste. Quanto menor for o valor do expoente (x), a vazão será menos influenciada pelas variações de pressão. Assim sendo, um emissor perfeito teria o expoente  $x = 0$ , chamados de autocompensantes (KELLER & KARMELI, 1974).

$$q = k \cdot H^x \quad (1)$$

Em que,

q é vazão do emissor, em  $L \cdot h^{-1}$ ;

k é a constante de proporcionalidade que caracteriza cada emissor, adimensional;

H é a pressão de serviço do emissor, m;

x é o expoente, determinado pelo regime de escoamento do emissor, adimensional.

A Eq. 2 apresenta o fator de correção ( $F_c$ ) proposto por Wu e Gitlin (1975) aplicado nesta simulação, o que viabilizou a obtenção da perda de carga na tubulação de múltiplas saídas.

$$F = \frac{1}{m+1} \quad (2)$$

Em que,

$m$  é o expoente da vazão na equação de perda de carga, adimensional.

Desta forma, a estimativa da variação de pressão em cada microaspersor foi realizada conforme Eq. 3, proposta por Wu e Gitlin (1975).

$$H = H_0 - \left(1 - \left(1 - \frac{1}{L}\right)\right)^{m+1} \cdot hf' \quad (3)$$

Em que,

$H$  é a pressão unitária;

$H_0$  é a pressão no início da linha lateral, m.c.a.;

$L$  é o comprimento da linha lateral, m;

$m$  é o expoente da vazão na equação de perda de carga, adimensional;

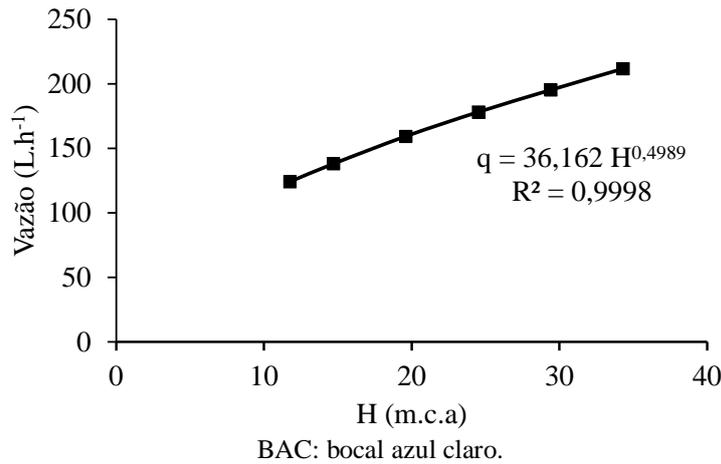
$hf'$  é a perda de carga numa tubulação de múltiplas saídas, m.c.a.

Muitos coeficientes são usados para expressar a variabilidade da distribuição da água na irrigação, neste estudo calculou-se o coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) e as interpretações baseou-se na metodologia proposta por Bralts (1986) que classifica seus valores de  $CUE \geq 90\%$  como excelentes, entre 80 e 90% muito bom, entre 70 e 80% regular, entre 60 e 70% ruim e valores de  $CUE < 60\%$  inaceitáveis.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ajuste da equação potencial de vazão em função da pressão de serviço para o microaspersor com BAC, obteve  $q = 36,162H^{0,4989}$  e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,9998 (Figura 1), esses resultados são semelhantes aos obtidos pelo fabricante, de acordo com o seu catálogo, portanto, esse ajuste enfatiza a coerência do modelo matemático utilizado.

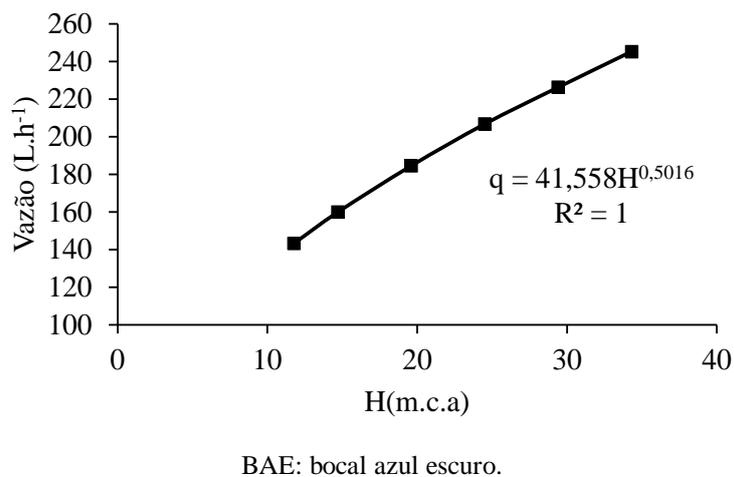
Figura 1. Curva e equação característica vazão-pressão do microaspersor com BAC.



O emissor com características ideais deve apresentar expoente “x” igual a zero, o que anula o efeito da variação de pressão na vazão do emissor (Frizzone et al., 2012). Logo, Pizarro Cabello (1996) destaca que um emissor em regime de escoamento laminar apresenta  $x = 1,0$  e em regime turbulento apresenta  $x < 1,0$ . Neste estudo obteve-se  $x = 0,4989$ , o que classifica o regime de escoamento no emissor em turbulento, de acordo com Pizarro Cabello (1996) e Frizzone et al. (2012).

O ajuste da equação potencial de vazão em função da pressão de serviço para o microaspersor com BAE obteve  $q = 41,558H^{0,5016}$  e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 1 (Figura 2), o que evidencia um excelente ajuste e ótima relação entre a vazão e a pressão no emissor. Nesta simulação o expoente para a variável pressão foi de  $x = 0,5016$ , o que caracteriza o regime de escoamento turbulento de acordo com Pizarro Cabello (1996).

Figura 2. Curva e equação característica vazão-pressão do microaspersor com BAE.



Nas Figuras 3A e 3B são expressos os resultados da simulação para os microaspersores com BAC e BAE, respectivamente, de modo que, na Figura 3A nota-se variação de pressão decrescente de 20,19 m.c.a para 19,87 m.c.a, ao longo da linha lateral. Resposta similar foi observada na variação

de vazão que decresceu de 161,91 L.h<sup>-1</sup> para 160,66 L.h<sup>-1</sup>. Na Figura 3B, verifica-se que a variação da pressão apresentou efeito análogo ao registrado pelo BAC, com tendência decrescente de 20,81 m.c.a para 19,45 m.c.a e vazão com variações ao longo da linha lateral de 190,46 L.h<sup>-1</sup> para 184,11 L.h<sup>-1</sup>. Certificando uma relação ajustada entre a pressão exercida e a vazão ao longo da linha lateral do sistema de irrigação para os bocais estudados.

Figura 3A. Gradiente de pressão e vazão para o microaspersor com BAC ao longo da linha lateral.

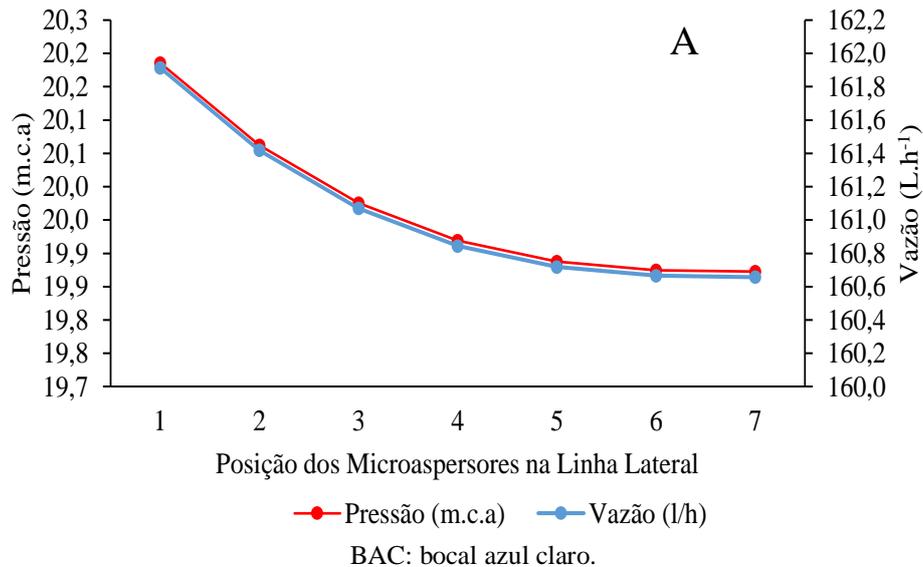
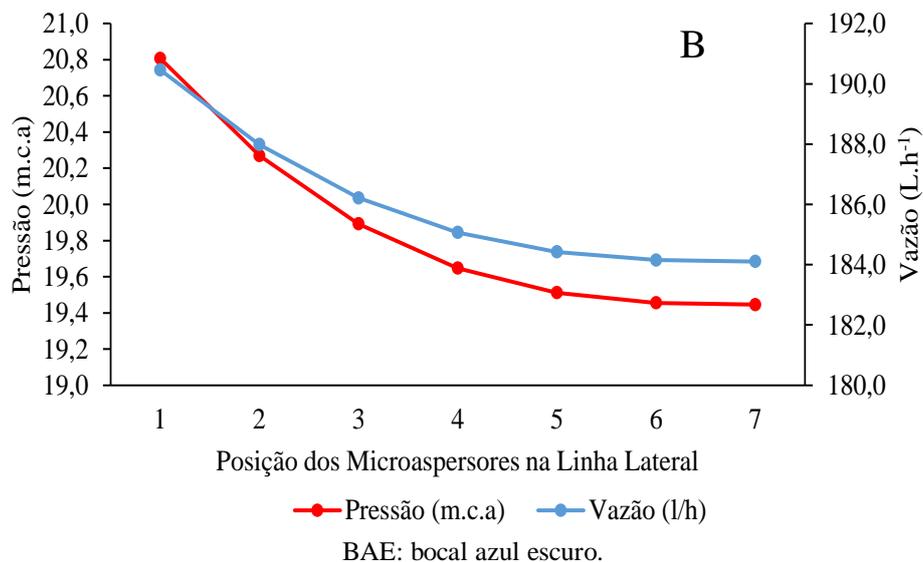


Figura 3B. Gradiente de pressão e vazão para o microaspersor com BAE ao longo da linha lateral.



Keller & Kamerly (1974) alegam que a uniformidade da aplicação da lâmina de irrigação ao longo da linha lateral, em sistemas de irrigação localizada, está diretamente relacionada com a

variação da pressão e vazão dos emissores, desta forma, alteração na pressão ocasionará variação de vazão.

Os valores do coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) para a pressão e vazão no BAC foram 99,41 e 99,70%, respectivamente. Já para o BAE o CUE para pressão e vazão foram 97,40 e 98,70%, respectivamente. Conforme Bralts (1986) os valores de CUE encontrados neste trabalho foram todos superiores a 90%, sendo considerados como excelentes.

Resultados similares ao presente estudo foram observados por Silva et al. (2019) que ao avaliarem por meio de simulações matemáticas dois microaspersores ( $73,00 \text{ L h}^{-1}$  e  $40,00 \text{ L h}^{-1}$ ) observaram que as curvas características de ambos apresentaram  $R^2$  superior a 0,999 e CUE excelente, ou seja, acima de 90%, da mesma forma, os autores também notaram decréscimo na relação vazão versus pressão ao longo do comprimento da linha, o que indica uma uniformidade de distribuição.

Da mesma maneira, Pinheiro et al. (2019) obtiveram resultados análogos aos encontrados neste estudo ao investigar o comportamento hidráulico de um emissor tipo microaspersor com vazão média de  $51,12 \text{ L.h}^{-1}$  ao longo de uma linha lateral em nível. Os resultados obtidos pelos autores mostram um comportamento decrescente tanto para pressão quanto para a vazão ao longo da linha lateral com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) de 0,98 e superior a 94% (excelente), respectivamente, apontando que a aplicação de água uniforme está estreitamente vinculada as variações de pressão e vazão nos emissores.

#### 4 CONCLUSÕES

A variação da pressão e da vazão dos microaspersores, tem influência direta na uniformidade de aplicação de água no decurso da linha lateral. A aplicação do modelo de Wu & Gitlin (1975), mostrou-se satisfatório no dimensionamento do gradiente de pressão e vazão para emissores ao longo da linha lateral, ambos com coeficiente de uniformidade próximo de 100%, sendo de grande importância para o eficiente dimensionamento hidráulico de sistemas de irrigação localizada.

#### REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. D. G. C. Microaspersor com microtubos: um novo conceito hidráulico na irrigação localizada. 104 p. 2008. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2008.
- ANDRADE, S. M. Desempenho hidráulico de microaspersor autocompensante, novo e usado. 49 p. 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.

- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E.C. Manual de irrigação. 8 ed. Viçosa, MG: Editora UFV. 2006. 625p.
- BOTREL, T.A. Hidráulica de microaspersores e linhas laterais para irrigação localizada. 78 f. 1984. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1984.
- BRALTS, V. F. Field performance and evaluation. In: *Developments in Agricultural Engineering*. Elsevier, v. 9, n. 1, p. 216-240, 1986.
- DANOLE, A. S.; PATIL, B. M. Evaluation of local head loss for non pressure compensation inline emitters and pressure compensating inline emitters in drip irrigation laterals. *International Journal of Emerging Research in Management & Technology*, v. 4, p. 9-16, 2015.
- FRIZZONE, J. A.; LOURENÇO, P. S.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. Microirrigação, gotejamento e microaspersão. Maringá: Editora EDUEM, 2012. 365 p.
- HERNANDEZ, FBT. Manejo da irrigação. 2004. Disponível em <<http://www.irrigaterra.com.br/manejo.php>>. Acesso em 20 abr. 2020.
- KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. *Transaction of the ASAE*, St. Joseph, v. 17, n. 4, p. 678-684, July/Aug. 1974.
- MACEDO, A. B. M., GOMES FILHO, R. R., LIMA, S. C. R. V., JÚNIOR, M. V., JÚNIOR, J. A. H. C., ARAÚJO, H.F. Desempenho hidráulico de um sistema de irrigação por microaspersão utilizando dois tipos de emissores. *Re. Bras. Agricul. Irrigada* v.4, n.2, p.82–86, 2010.
- PINHEIRO, A. G., da SILVA, J. L. B., de Oliveira SILVA, D. A., BATISTA, P. H. D., de MORAES RODRIGUES, J. A., & da SILVA, M. V. Simulação matemática do comportamento teórico-hidráulico de microaspersores e microtubos ao longo da linha lateral. *Revista Ambientale*, 11(2), 22-33, 2019.
- PIZARRO CABELLO, F. Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión, exudación. 3. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. 513 p.
- SILVA, M. V., DIAS, I. C. G. M., DE ALMEIDA, G. L. P., & DA SILVA, R. A. B. Modelagem do comportamento hidráulico de microaspersores ao longo da linha lateral. *Revista de engenharia e tecnologia*, 11 (1), p. 68-76, 2019.
- SOUZA, R. O. R. M.; NETO, J. D. Equação explícita para cálculo do fator de atrito de Darcy-Weisbach em projetos de irrigação pressurizada. *Irriga, Botucatu*, v. 19, n.1, p. 137- 148, 2014.
- TESTEZLAF, R. (2017). *Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações*. Faculdade de Engenharia Agrícola Universidade Estadual de Campinas, 2017.
- WU, I. P.; GITLIN, H. M. Energy gradient line for drip irrigation laterals. *Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE*, v. 101, n. 4, p. 323-326, 1975.