

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**VAZÃO E UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE
TUBO GOTEJADOR EM SUPERFÍCIE E SUBSUPERFÍCIE**

**Aluna: Karoline Maso dos Reis
Engenheira Agrônoma**

2017

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS**

**VAZÃO E UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE TUBO GOTEJADOR EM
SUPERFÍCIE E SUBSUPERFÍCIE**

Aluna: Karoline Maso dos Reis

Orientador: Prof. Dr. José Renato Zanini

Coorientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Barreto

**Dissertação apresentada à Faculdade
de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).**

2017

Reis, Karoline Maso dos
R375v Vazão e uniformidade de distribuição de tubo gotejador em
superfície e subsuperfície/ Karoline Maso dos Reis. -- Jaboticabal,
2017
iii, 31 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017
Orientador: José Renato Zanini
Coorientador: Antônio Carlos Barreto
Banca examinadora: Afonso Lopes, João Carlos Cury Saad
Bibliografia

1. Irrigação localizada. 2. Contrapressão. 3. Manejo de irrigação. I.
Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.67

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da
Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

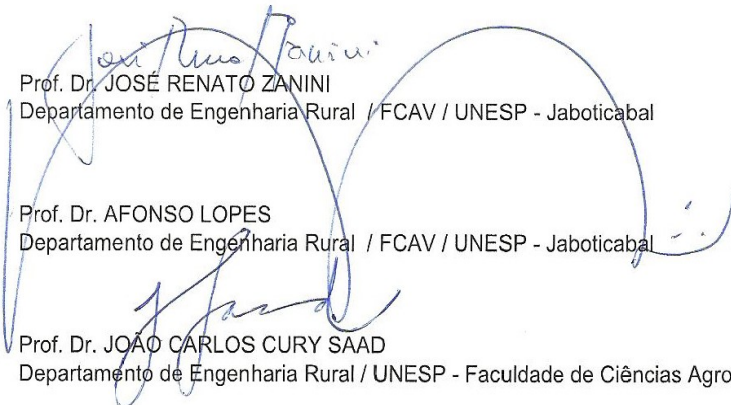
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: VAZÃO E UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE TUBO GOTEJADOR EM SUPERFÍCIE E SUBSUPERFÍCIE

AUTORA: KAROLINE MASO DOS REIS

ORIENTADOR: JOSÉ RENATO ZANINI

COORIENTADOR: ANTONIO CARLOS BARRETO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. JOSÉ RENATO ZANINI
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. AFONSO LOPES
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. JOÃO CARLOS CURY SAAD
Departamento de Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu

Jaboticabal, 21 de fevereiro de 2017

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

Karoline Maso dos Reis – Brasileira, nascida em 20 de janeiro de 1992, na cidade de Altinópolis/SP. Filha de Fernando Luis dos Reis e Antonia Eliete Maso. Ingressou no curso de Engenharia Agrônômica em 2010, no Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), Câmpus Uberaba/MG. Durante a graduação foi, por 2 anos, bolsista de iniciação científica e, em 2013, concursou no serviço público, no IFTM, como Auxiliar em Administração. Concluiu o curso de Engenharia Agrônômica em 2014 e, no mesmo ano, iniciou o Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo), na Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal/SP. Atua na linha de pesquisa de Engenharia de Água e Solo, sob orientação do Prof. Dr. José Renato Zanini e coorientação do Prof. Dr. Antônio Carlos Barreto, desenvolvendo pesquisas com irrigação subsuperficial. Em novembro de 2016, foi aprovada para cursar o Doutorado em Agronomia (Ciência do Solo), na Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal/SP.

Epígrafe

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

Dedicatória

Dedico este trabalho aos agricultores e projetistas de irrigação como uma contribuição para que possamos, juntos, tornar o uso da água e a produção agropecuária mais eficientes.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força nos momentos que pareciam ser impossíveis de continuar.

Aos meus pais, Fernando L. dos Reis e Antonia Eliete Maso, por tudo que fizeram para que eu pudesse chegar até aqui.

Aos meus irmãos, Lorena e Daniel, pelo companheirismo.

Ao meu esposo, Fellipe, por ter me ajudado e apoiado tornando possível a conclusão de mais esta etapa.

À minha avó, Maria Bueno.

Às companheiras de trabalho, Raquel, Jane e Cláudia, pelo incentivo e amizade.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Antônio Carlos Barreto, por me incentivar e acompanhar todo o desenvolvimento desta dissertação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Renato Zanini, por confiar em mim para sua orientação.

SUMÁRIO

RESUMO	ii
ABSTRACT.....	iii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1. Irrigação	2
2.2. Irrigação localizada	4
2.3. Irrigação subsuperficial por gotejamento	4
2.4. Avaliação da irrigação.....	5
2.4.1. Equação característica do emissor	6
2.4.2. Coeficiente de determinação (R^2)	7
2.4.3. Coeficiente de variação de fabricação	7
2.4.4. Determinação do coeficiente de Christiansen	8
2.4.5. Determinação do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4.1. Vazão:	15
4.2. Coeficiente de variação de fabricação	21
4.3. Coeficiente de Uniformidade de Christiansen	23
4.4. Coeficiente de Uniformidade de Distribuição	24
5. CONCLUSÕES.....	27
6. REFERÊNCIAS	28

VAZÃO E UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE TUBO GOTEJADOR EM SUPERFÍCIE E SUBSUPERFÍCIE

RESUMO: A caracterização da distribuição de água por tubo gotejador é imprescindível para a irrigação. E, a falta de conhecimento desse fator leva a impactos econômicos e ambientais. O objetivo deste trabalho foi avaliar a uniformidade de distribuição e vazão de um tubo gotejador em condição de irrigação superficial e subsuperficial. Utilizou-se o tubo gotejador Drip Net PC™ AS 16150, com delineamento experimental no esquema fatorial 5 x 5, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos da combinação de 5 profundidades de submersão do tubo gotejador (0; 10; 20; 30 e 40 cm) e 5 pressões de entrada da água no tubo gotejador (49, 98, 147, 196 e 245 kPa). O menor coeficiente de uniformidade de distribuição obtido foi de 95,55% e o menor coeficiente de uniformidade de Christiansen, 96,37%, sendo classificados como excelentes de acordo com Merriam e Keller (1978) e Mantovani (2002), respectivamente. O coeficiente de variação de fabricação ficou dentro da regulamentação, ABNT NBR ISO 9261, sendo menor que 7%. As vazões em subsuperfície apresentaram-se mais próximas da vazão nominal do tubo gotejador do que a vazão em superfície, indicando bom desempenho do tubo gotejador para irrigação em subsuperfície.

Palavras-chave: irrigação localizada, contrapressão, manejo de irrigação

FLOW AND DISTRIBUTION UNIFORMITY OF A DRIPLINE USED IN SURFACE AND SUBSURFACE IRRIGATION

ABSTRACT: The characterization of the water distribution by dripping tube is essential for irrigation. And, lack of knowledge of this factor leads economic and environmental impacts. The objective of this research was to evaluate the uniformity of distribution and flow of a dripper tube in surface and subsurface irrigation conditions. The Drip Net PCTM AS dripping tube 16150 was used, with experimental design in a 5 x 5 factorial scheme, with four replications. The treatments consisted of the combination of 5 submersion depths of the dripper tube (0, 0.1, 0.2, 0.3 and 0.4 m) and 5 inlet pressures of the water in the dripper tube (49, 98, 147, 196 and 245 kPa). The lowest coefficient of uniformity of distribution was 95.55% and the lowest coefficient of uniformity of Christiansen, 96.37%, being classified as excellent according to Merriam and Keller (1978) and Mantovani (2002), respectively. The coefficient of variation of manufacturing was within the regulation, ABNT NBR ISO 9261, being less than 7%. The subsurface flow rates were closer to the nominal flow rate of the dripping tube than to the surface flow rate, indicating a good performance of the drip tube in subsurface.

Key words: localized irrigation, backpressure, irrigation management

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável à vida. A produção agrícola depende das chuvas e da irrigação para suprir a demanda de água das culturas. No Brasil, segundo estudo relatado pela FEALQ (2014), a agricultura está contemplada com 6.039.839 ha com irrigação e potencial irrigável de 81.224.233 ha. Nesse sentido, vê-se a existência de grande possibilidade de expansão da área irrigada. Entretanto, para que este crescimento ocorra com sustentabilidade, é necessário o uso de sistemas de irrigação com alta eficiência no uso da água, relacionando a quantidade de água aproveitada pela planta e a retirada a partir do manancial.

A irrigação por gotejamento subsuperficial pode ser usada para melhorar a uniformidade de irrigação e eficiência do uso da água numa série de sistemas de cultivo, aplicando baixo volume de água diretamente na zona radicular das culturas (YAO et al., 2011). Destaca-se que além de a água ser depositada na região onde a planta mais a absorve, também diminui a perda, por evaporação, que ocorre quando a água está na superfície do solo.

No entanto, ao colocar um tubo de irrigação em subsuperfície, surgem outros fatores que podem interferir no desempenho da irrigação. O gotejamento subsuperficial pode ser dificultado pelo fenômeno de contrapressão, levando à redução da vazão do gotejador (THEBALDI et al., 2016). Assim, com o propósito de fazer um projeto de sistema de irrigação, bem como realizar manejo, é fundamental que se conheça exatamente qual é a vazão do tubo gotejador, como também a uniformidade de distribuição de água. Por consequência, ao conhecer o sistema torna-se possível dimensionar adequadamente e calcular o tempo de irrigação necessário para suprir a demanda de cada cultura. Com a hipótese de que o gotejamento em subsuperfície altera o desempenho dos gotejadores, o objetivo deste trabalho foi avaliar a uniformidade de distribuição e vazão de um tubo gotejador em condição superficial e subsuperficial.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Irrigação

Segundo Duarte (2012), a água atua na planta como reagente, na turgescência celular, mecanismo estomático, condução (solutos e gases), crescimento e penetração das raízes. Portanto, a disponibilidade de água nos ambientes produtivos é um dos fatores que mais interfere no crescimento e desenvolvimento da cultura. Em condições de déficit hídrico, há redução do crescimento radicular. Podendo reduzir a produtividade significativamente mesmo em solos com horizontes férteis abaixo da camada arável, se ocorrer forte limitação hídrica em estágios de desenvolvimento que requerem maior demanda por água pela cultura (MANZATTO et al., 2009).

A água é disponibilizada na natureza para as plantas, principalmente, através das chuvas, permanecendo armazenada no solo e podendo ser utilizada pela planta conforme a demanda. No entanto, além de o solo ter um limite que é a capacidade de armazenamento de água, ocorrem perdas por meio da evaporação, do escoamento superficial e percolação. Além disso, segundo Duarte (2012), a precipitação é sazonal, incerta e de ocorrência errática, o que acrescido de elevada evaporação gera estresse hídrico ou até mesmo seca. Portanto, esses fatores fazem da precipitação um importante elemento para o crescimento e produção de matéria seca das plantas.

No universo, a água é o recurso mais importante em todos os aspectos da vida (DANTAS NETO; FARIAS, 2013). Entre os fatores do ambiente que afetam o crescimento vegetal e a produtividade agrícola, a disponibilidade hídrica é o mais importante na maioria das regiões, pois define o grau de aptidão climática das regiões às culturas. (COELHO FILHO et al., 2011).

Diante desta necessidade de suprir o solo com o teor adequado de água tem-se a irrigação. A irrigação é uma técnica que permite aplicar a quantidade de água adequada ao desenvolvimento das culturas, aumentando o potencial de produção da área e possibilitando melhorar a qualidade dos produtos. A uniformidade de distribuição de água em áreas irrigadas influencia diretamente o manejo, a qualidade, a eficiência e o custo da irrigação, assim como o desempenho da cultura

no campo. Baixa uniformidade de distribuição de água faz com que determinadas plantas irrigadas recebam diferentes quantidades de água e fertilizantes do que outras, resultando em crescimento desuniforme dentro da área de plantio (SANTOS et al., 2003).

A história ensina que a irrigação sempre foi um fator de riqueza, prosperidade e, conseqüentemente, de segurança. (BERNARDO; SOARES; MATOVANI, 2013). Ainda segundo os mesmos autores grandes aglomerações há mais de 4000 se desenvolveram as margens de rios onde tinham acesso a recursos hídricos, já no Brasil, o primeiro projeto implantado foi em 1589 na Fazenda Santa Cruz/RJ.

A irrigação é uma opção chave amplamente utilizada para adaptação da agricultura à mudança climática (SEO, 2011). Cunha, D.A.D. et al. (2013), desenvolveram trabalho com projeções de temperatura e precipitação no período de 2010 a 2099, sendo que, os resultados confirmam a eficácia da irrigação como medida adaptativa e que o valor médio da terra de pequenos produtores irrigantes seja aproximadamente o dobro do valor de sequeiro.

A irrigação continua sendo fundamental para a agricultura, [...] a irrigação brasileira necessita de maior investimento por unidade de área, uma vez que esse recurso adicional pode representar grande ganho de eficiência da prática. Esse "esforço adicional" visaria a modernização de equipamentos de irrigação e a instalação de infraestrutura para melhoria do manejo da água, sobretudo para pequenos produtores. Complementarmente, a garantia dada pela irrigação no tocante à segurança alimentar pode indicar que se justificaria a concessão de algum tipo de subsídio nos casos em que a produção objetivasse o abastecimento do mercado interno. Logicamente, esses avanços somente serão obtidos num ambiente de evolução das políticas públicas e do sistema de extensão rural (CUNHA, D.A.D. et al., 2013).

De acordo com Alves (2015), o último relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, da Agência Nacional de Águas (ANA), a irrigação foi a atividade que consumiu 72% da água utilizada no Brasil. Desta forma o uso de tecnologias que permitem melhor aproveitamento da água utilizada na irrigação é fundamental para que a grande quantidade de água na qual a agricultura responde não seja

desperdiçada, pois o uso de água excessivo também é prejudicial podendo ocasionar sérios danos ambientais.

A visão de abundância de água é enganosa, haja vista a concentração de 74% da disponibilidade hídrica situar-se na Amazônia, onde habita somente 5% da população do País (ANA, 2007).

2.2. Irrigação localizada

A irrigação localizada surgiu comercialmente em Israel na década de 1960. O desenvolvimento tecnológico dos tubos de PVC (cloreto de polivinil) e polietileno de baixa densidade contribuiu sensivelmente para o sucesso desse tipo de irrigação. No Brasil esse método surgiu na década de 1970 (microaspersão) e 1980 (gotejamento) (BASTOS et al., 2011). Este sistema pode ser classificado, segundo a posição de instalação da linha de emissores, em superficial, quando os emissores se encontram na superfície do solo, e subsuperficial, quando os emissores se localizam abaixo da superfície (NOGUEIRA; COELHO; LEÃO, 2000).

2.3. Irrigação subsuperficial por gotejamento

Uma técnica de irrigação que promove o uso mais eficiente da água é a irrigação por gotejamento subsuperficial (IGS) (BARBOSA et al., 2012). Os emissores ficando abaixo da superfície reduzem ou anulam a área superficial molhada do solo, havendo diminuição em perdas por evaporação.

De acordo com Testezlaf (2002), o sistema de irrigação localizada por gotejamento subsuperficial caracteriza-se por aplicar a água na zona de desenvolvimento do sistema radicular da planta, com pequenos volumes aplicados e alta frequência de aplicação, com auxílio das forças capilares.

Gotejamento subsuperficial está sendo implementado em todo o mundo trazendo benefícios significativos em termos de aumento de rendimento, melhoria da qualidade da cultura, redução da quantidade de água aplicada e redução dos custos para controle de plantas daninhas e adubação (AYARS; FULTON; TAYLOR, 2015).

Os tubos gotejadores utilizados na IGS são autocompensantes e anti-sifão. Para melhorar a uniformidade e a eficiência da aplicação de água pela irrigação, bem como permitir aos projetistas a construção de linhas laterais mais longas, foram

desenvolvidos os gotejadores autocompensantes. Esses emissores possuem, de uma maneira geral, custo mais elevado, porém realizam autorregulação da vazão quando ocorre variação da pressão hidráulica no interior da linha (DALRI et al., 2015). Já o anti-sifão previne a aspiração de partículas que podem causar entupimentos nos emissores pelo orifício de saída de água.

O advento e incorporação de novas tecnologias geradas pela pesquisa para melhorar a produtividade das culturas e proporcionar o uso eficiente da água auxiliarão a evitar desmatamentos e plantios em áreas marginais, com redução de risco e geração de emprego e renda (PIRES et al., 2008). O sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, também conhecido por gotejamento subsuperficial, aparece em resposta à busca pela alta eficiência de irrigação (BASTOS et al., 2011).

As características hidráulicas de emissores de água em irrigação localizada constituem-se na relação vazão versus pressão, na uniformidade de fabricação, na grandeza do raio efetivo (de irrigação) e na uniformidade de distribuição d'água ao longo do raio (NASCIMENTO; SOARES; AZEVEDO, 1999). Na irrigação localizada, a uniformidade de aplicação de água ao longo da linha lateral está intimamente relacionada à variação de vazão dos emissores (CUNHA, F.N. et al., 2013).

O desempenho de um gotejador na irrigação superficial e subsuperficial pode ser diferente. Em estudo realizado por Nogueira; Coelho e Leão (2000), trabalhando com bulbo molhado formado na irrigação em superfície e subsuperfície, ao delimitarem a isolinha de -40 KPa para o bulbo a umidade média foi maior para o gotejamento subsuperficial, fato que se deve à maior resistência à infiltração, no caso do gotejador subsuperficial mantendo, assim, maiores teores de água próximo ao gotejador.

2.4. Avaliação da irrigação

A avaliação de sistemas de irrigação tem como objetivos determinar a eficiência do sistema, determinar quão efetivamente pode ser operado e melhorado e obter informações que auxiliem os engenheiros na elaboração de projetos de outros sistemas e que permitam comparar vários métodos e procedimentos operacionais, visando ao lado econômico (LIMA FILHO, 2015).

2.4.1. Equação característica do emissor

O coeficiente de determinação, também conhecido como R^2 , ou simplesmente r^2 para o caso de regressão linear simples, fornece informação auxiliar ao resultado da análise da regressão (apresentado a seguir), como uma maneira de verificar se o modelo proposto é adequado ou não para descrever o fenômeno. O valor de r^2 varia no intervalo de 0 a 1. Valores próximos de 1 indicam que o modelo proposto é adequado para descrever o fenômeno (PETERNELLI, 2005).

Relação entre vazão (q) em $L h^{-1}$ e pressão de entrada (p) em kPa, determinados de acordo com a NBR ISO 9261:

$$q \cong k \cdot p^m \quad (1)$$

Em que:

K: é uma constante;

m: é o expoente do emissor.

Com os valores de vazão em função da pressão de entrada, encontrados no experimento, determina-se o m:

$$m = \frac{\sum(\lg p_i)(\lg \bar{q}_i) - \frac{1}{n}(\sum \lg p_i)(\sum \lg \bar{q}_i)}{\sum (\lg p_i)^2 - \frac{1}{n}(\sum \lg p_i)^2} \quad (2)$$

Em que:

l: é 1, 2, 3...n;

n: é o número de valores de pressão utilizado;

\bar{q} : é a vazão média, em litros por hora;

P: é a pressão de entrada, em kPa.

Determinação da constante de unidade do tubo emissor (k)

$$k = \exp \left[\left(\frac{\sum \ln q_i}{n} \right) - \frac{m \times (\sum \ln p_i)}{n} \right] \quad (3)$$

Em que:

l: é 1,2,3... n;

n: é o número de valores de pressão usado no experimento;

q_1 : é a vazão média, em litros por hora;

p_1 : é a pressão de entrada, , em kPa;

m: é o expoente de unidade do tubo gotejador.

2.4.2. Coeficiente de determinação (R^2)

Com a equação do tubo calculou-se, de acordo com Martins e Domingues (2014), o coeficiente de determinação, que demonstra o ajuste do modelo proposto aos valores observados na condução do experimento:

$$R^2 = \frac{VT-VR}{VT} \quad (4)$$

Em que:

$$VT: \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2$$

$$VR: VT - VE$$

$$VE: \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y}_i)^2$$

Y_i : valor observado de Y para uma observação X_i ;

\bar{Y}_i : média dos valores observados;

\hat{Y}_i : valor da previsão de Y para uma observação X_i .

2.4.3. Coeficiente de variação de fabricação (CVf)

O controle de qualidade na fabricação dos emissores é primordial visto que as vazões podem ser inconstantes entre emissores, em lotes com coeficiente de variação de fabricação alto, não obstante isto possa ocorrer também em sistema superficial (SOUZA et al., 2012).

O coeficiente de variação de fabricação (CVf), de acordo com a NBR ISSO 9261 é dado pela seguinte equação:

$$C_v = \frac{S_q}{\bar{q}} 100 \quad (5)$$

Em que:

S_q : desvio padrão da amostra ($L h^{-1}$).

\bar{q} : vazão média da amostra em ($L h^{-1}$).

Observa-se que a vazão média não deve divergir da vazão nominal por mais $\pm 7\%$.

Para a interpretação dos resultados do CVf foi utilizada a referência da Tabela 1.

Tabela 1. Classificação do CVf para emissores gotejadores (SOLOMON, 1979)

Classificação	CVf (%)
Uniformidade Excelente	≤ 3
Uniformidade Média	3 – 7
Uniformidade Baixa	> 7 – 10
Uniformidade Ruim	> 10 – 14
Uniformidade Inaceitável	> 14

2.4.4. Determinação do coeficiente de Christiansen

O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) é considerado por muitos o principal parâmetro que descreve a uniformidade de irrigação, sendo usado para medir a variabilidade espacial da lâmina de água aplicada pelo sistema de irrigação (MANTOVANI, BERNARDO e PALARETTI, 2009).

O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen é calculado pela seguinte equação:

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum |q_i - \bar{q}|}{n \cdot \bar{q}} \right) \quad (6)$$

Em que:

q_i : vazão de cada gotejador ($L h^{-1}$);

\bar{q} : vazão média dos gotejadores ($L h^{-1}$);

n: número de gotejadores.

Para a interpretação dos resultados do CUC foi utilizada a referência da Tabela 2.

Tabela 2. Classificação do CUC para emissores gotejadores (MANTOVANI, 2002)

Classificação	CUC (%)
Excelente	90 – 100
Boa	80 – 90
Razoável	70 – 80
Ruim	60 – 70
Inaceitável	< 60

2.4.5. Determinação do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição

(CUD)

Um baixo valor de CUD indica que excessiva perda por percolação profunda ocorreria se toda área recebesse lâmina maior ou igual à real necessária (MANTOVANI, BERNARDO e PALARETTI, 2009).

O CUD é calculado pela seguinte equação:

$$CUD = 100 * \left(\frac{\bar{q}_{25}}{\bar{q}} \right) \quad (7)$$

Em que:

\bar{q}_{25} : vazão média das 25% menores vazões (L h⁻¹)

\bar{q} : vazão média dos gotejadores (L h⁻¹)

Para a interpretação dos resultados do CUD foi utilizada a referência da Tabela 3.

Tabela 3. Classificação do CUD para emissores gotejadores (MERRIAM e KELLER, 1978)

Classificação	CUD (%)
Excelente	>90
Bom	80 – 90
Regular	70 – 80
Ruim	<70

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Instituto Federal do Triângulo Mineiro – IFTM/Câmpus Uberaba – MG, cujas coordenadas geográficas são 19°39'19" de latitude sul, 47°57'27" de longitude oeste e 780 m de altitude, no período entre junho e setembro de 2016. Foi utilizado o tubo gotejador Drip Net PC™ AS 16150, que é autocompensado (PC) e anti-sucção (AS), com espaçamento entre emissores de 0,6 m e vazão nominal de 1 L h⁻¹.



Figura 1. Localização do experimento

As avaliações foram realizadas de acordo com a ABNT NBR ISO 9261 (2006), desenvolvendo-se ensaios em superfície e subsuperfície para determinar: vazão, curva característica, coeficiente de variação de fabricação (CVf), coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD).

Na entrada de água do sistema foi colocado um acesso para que fossem realizadas as leituras da pressão da água, utilizando manômetro digital da Wärme Série WMD-2001 com capacidade de aferição de 0 a 160 PSI e precisão de 0,5 FE, na qual os tubos seriam avaliados. As leituras foram realizadas após o sistema estabilizar. Os coletores foram colocados sobre uma composição móvel que possibilitou que fossem colocados e retirados sob os emissores ao mesmo tempo (Figura 2).



Figura 2. Estrutura da avaliação superficial e aferição de pressão

Para a avaliação em subsuperfície, foram usados tubos de PVC de 100 mm de diâmetro. O tubo gotejador foi inserido perpendicularmente ao tubo de PVC permitindo que cada emissor fosse submerso na água nas profundidades: 10; 20; 30 e 40 cm (Figuras 3 e 4).

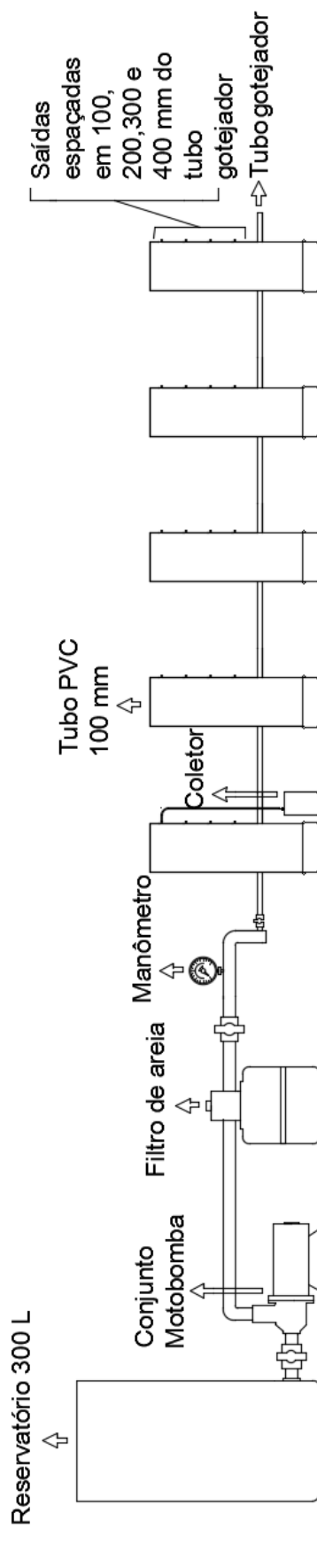


Figura 3. Croqui da avaliação subsuperficial



Figura 4. Estrutura da avaliação subsuperficial

Nos testes em subsuperfície, a tensão superficial da água não permitia que se mantivesse fluxo constante de saída de água de dentro do tubo de PVC (provocando acúmulo de água dentro do tubo). Desta forma, adicionou-se um espalhante, com princípio ativo: polioxietileno alquil fenol éter em concentração 200 g L^{-1} , colocando-se 1 mL desse aditivo dentro de cada tubo de PVC.

O delineamento experimental utilizado foi esquema fatorial 5×5 , com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos da combinação de 5 profundidades de submersão do tubo gotejador (0; 10; 20 ;30 e 40 cm) e 5 pressões de entrada da água no tubo gotejador (49, 98, 147, 196 e 245 kPa). Cada parcela experimental conteve 25 emissores. A vazão foi calculada pelo volume de água coletado, em cada emissor, durante 5 minutos.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade. Em se constatando diferenças significativas para vazão, realizaram-se a análise de regressão, a obtenção da curva característica por meio da equação da vazão e o cálculo do coeficiente de correlação. Para as outras características as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Vazão: as vazões do experimento foram submetidas ao teste de médias e de regressão conforme Tabela 4.

Tabela 4. Teste de médias da vazão em função da pressão de entrada, da contrapressão e da interação entre pressão e contrapressão

Fatores	Vazão (L h ⁻¹)
Pressão (kPa)	
49	1,017
98	1,001
147	1,002
196	1,009
245	1,007
Teste F	17,389*
Contrapressão (kPa)	
0	1,029
0,98	1,003
1,96	0,998
2,94	1,000
3,92	1,006
Teste F	65,882*
Interação	
Pressão X Contrapressão	3,441*
CV (%)	3,48

* significativo pelo Teste F a 1% de probabilidade;

Sendo significativa a interação entre a pressão e contrapressão, realizou-se o desdobramento da interação (Tabela 5).

Tabela 5. Vazão (L h⁻¹) em função da interação entre pressão e contrapressão

Pressão (kPa)	Contrapressão (kPa)					Teste F
	0,00	0,98	1,96	2,94	3,92	
49	1,034A2	1,014a2A1	1,011a2A1	1,010a2A1	1,017a2A1	7,825*
98	1,028A2	0,996a1A1	0,986a1A1	0,999a1A1	0,994a1A1	21,298*
147	1,035A3	0,999a1A2	0,981a1A1	0,994a1A2	1,003a1A2	32,049*
196	1,024A2	1,006a2A1	1,003a2A1	1,006a2A1	1,006a2A1	5,926*
245	1,025A3	1,000a1A1	1,007a2A2	0,992a1A1	1,009a2A2	12,546*
Teste F	1,928 ^{ns}	4,44*	14,248*	4,63*	5,904*	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula e número na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott- Knott a 1% de probabilidade; Médias seguidas pela mesma letra maiúscula e número na linha não diferem entre si pelo teste de Scott- Knott a 1% de probabilidade; *significativo pelo Teste F a 1% de probabilidade; ^{ns} não significativo pelo teste F

A vazão do tubo gotejador foi maior na pressão de 49 kPa que pode ter ocorrido devido estar próxima ao limite inferior da pressão recomendada pelo fabricante (40 kPa). As pressões que proporcionaram vazões mais próximas à indicada pelo fabricante (1 L h⁻¹) foram de 98 e 147 kPa (Tabela 4).

A maior vazão utilizando pressão de 49 kPa também foi observada por Ribeiro et al. (2014), ao avaliar o tubo autocompensado Hydro PC (HY 2,0). Esses autores afirmaram que o fato ocorreu pela não ativação da compensação de pressão pela membrana do emissor.

A contrapressão diminuiu a vazão, sendo que em subsuperfície a vazão ficou mais próxima a 1 L h⁻¹, demonstrando bom desempenho do tubo para irrigação em subsuperfície. O conhecimento da real vazão do tubo é imprescindível, pois considerando 6 horas de irrigação, espaçamento entre linhas de 1 metro, e sem contrapressão, com vazão nominal do tubo haveria percolação de 2.928 L ha⁻¹, ocasionando perda de água, nutrientes e gasto de energia desnecessário, conforme o seguinte cálculo:

$$1,029276 \text{ L h}^{-1} - 1 \text{ L h}^{-1} = 0,029276 \text{ L h}^{-1}$$



$$\frac{0,029276 \text{ L h}^{-1}}{1 \text{ m} * 0,6 \text{ m}} = 0,0487933 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

$$1 \text{ m} * 0,6 \text{ m}$$



$$0,0487933 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1} * 6 \text{ h} * 10000 \text{ m}^2 = 2928 \text{ L}$$

Cunha, F.N. et al. (2013) também observaram reduções na vazão de gotejadores em condições subsuperficiais e comprometimento do funcionamento para adequado manejo da irrigação. Thebaldi et al. (2016) avaliando os efeitos da contrapressão sobre a relação vazão-pressão de tubos gotejadores obtiveram menores vazões ocasionadas pela contrapressão em todas as pressões testadas.

Quando o tubo gotejador foi avaliado sem contrapressão, ou seja, em superfície, as pressões de 49 a 245 kPa não provocaram alterações na vazão. Já em subsuperfície sempre ocorreram variações, pois a contrapressão influencia o funcionamento da membrana reguladora de vazão.

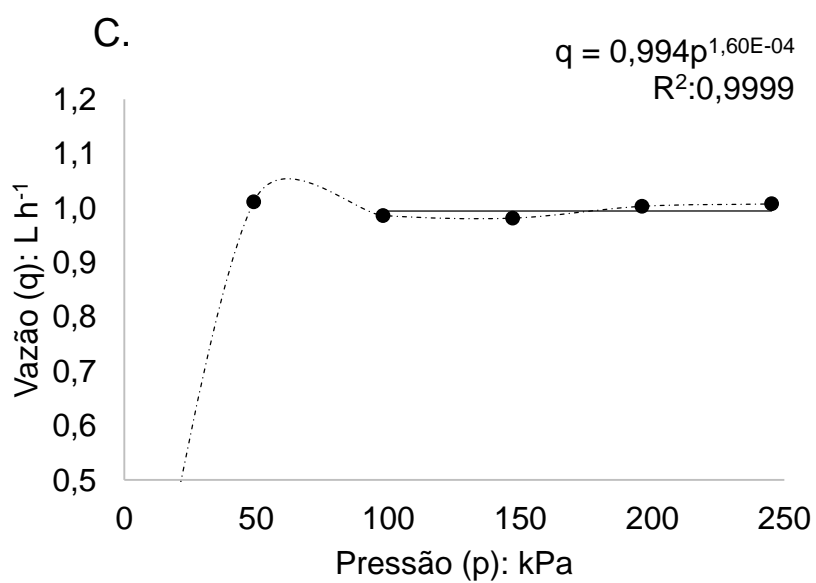
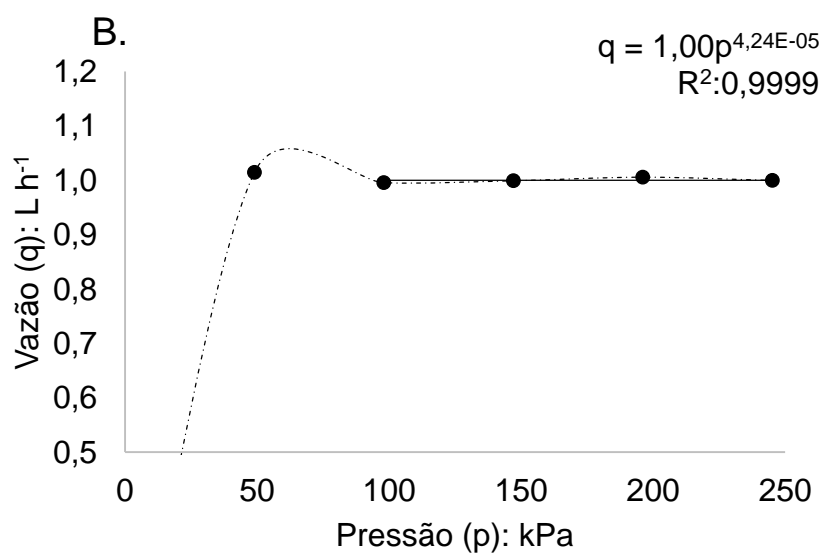
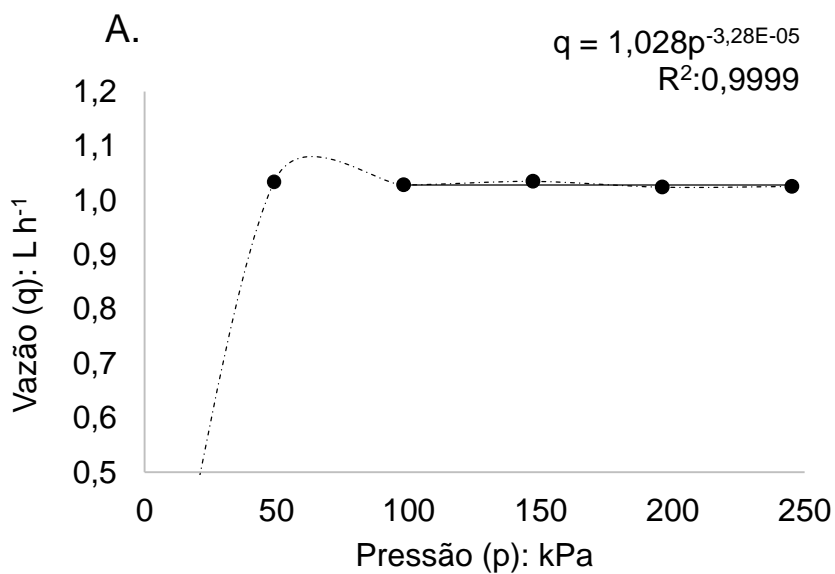
Ao submergir o tubo, independentemente da pressão, a vazão diminuiu e teve influência da pressão de entrada e da contrapressão, que pode ser explicada pela pressão contra a saída de água, em função da contrapressão. Embora a vazão em contrapressão seja menor que em superfície, houve bom comportamento do tubo gotejador, pois a vazão foi mais próxima a nominal (1 L h^{-1}).

Ao ser submetido à contrapressão com pressão de 98 e 147 kPa, as vazões foram menores. Tendo-se em 196 kPa, vazão significativamente maior que em 98 e 147 kPa e igual à vazão de 49 kPa; enquanto que, em 245 kPa, não houve constância na variação, provavelmente, pela intervenção do compensador de pressão. Quando usadas as pressões de 98 e 196 kPa, as contrapressões de 0,98 a 3,92 kPa não provocaram alterações na vazão.

Thebaldi et al. (2016), ao avaliarem tubos gotejadores com autocompensação, observaram maior variabilidade quando os tubos foram submergidos, corroborando com os dados obtidos neste trabalho.

Com a vazão em função da pressão de entrada foi desenvolvida a curva característica do tubo gotejador e respectivas equações características, determinação do expoente (m) e do coeficiente de determinação (R^2) (Figura 5).

Os gráficos foram montados de maneira tal que, a linha tracejada indica a equação característica do emissor, a linha contínua representa os resultados da equação que foi desenvolvida para pressões de 100 a 250 KPa e os pontos os valores reais de vazão.



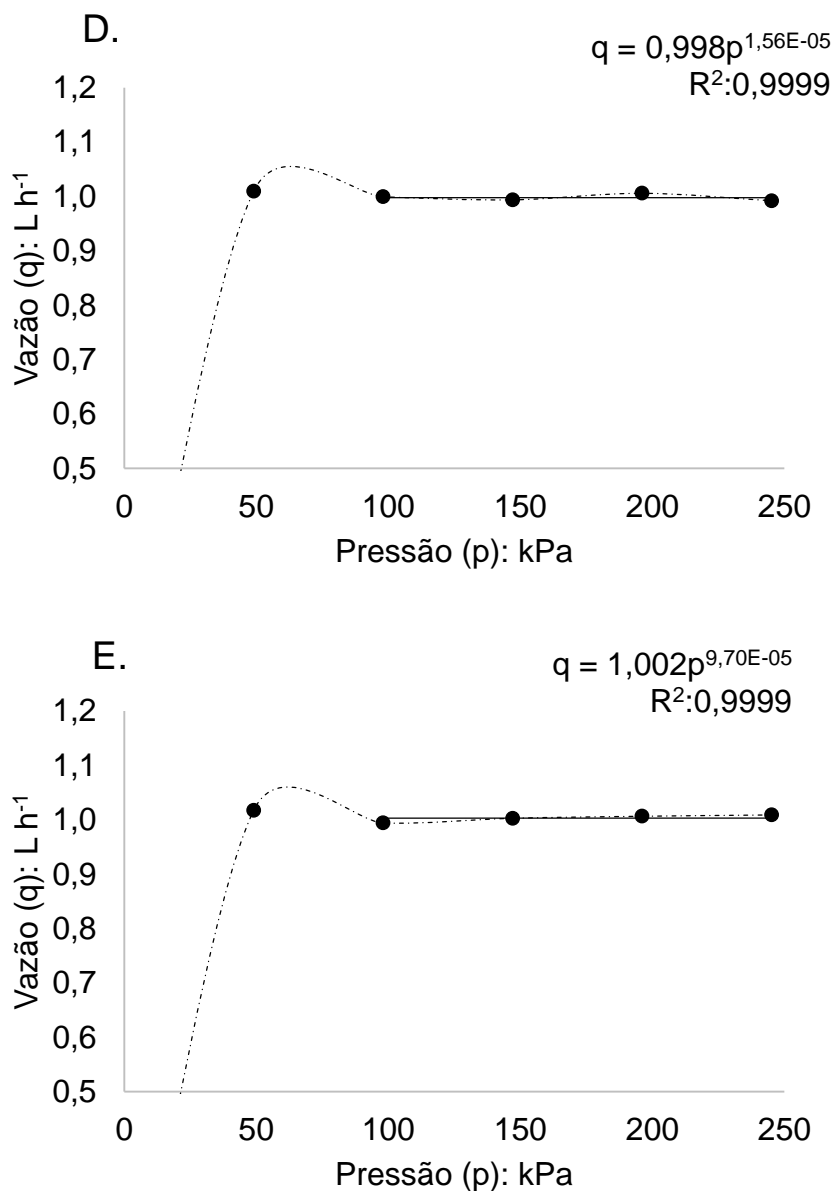


Figura 5. Curvas características, equações e coeficientes de determinação da vazão em função da pressão: Superficial (A), Contrapressão 0,98 kPa (B), Contrapressão 1,96 kPa (C), Contrapressão 2,94 kPa (D), Contrapressão 3,92 kPa (E).

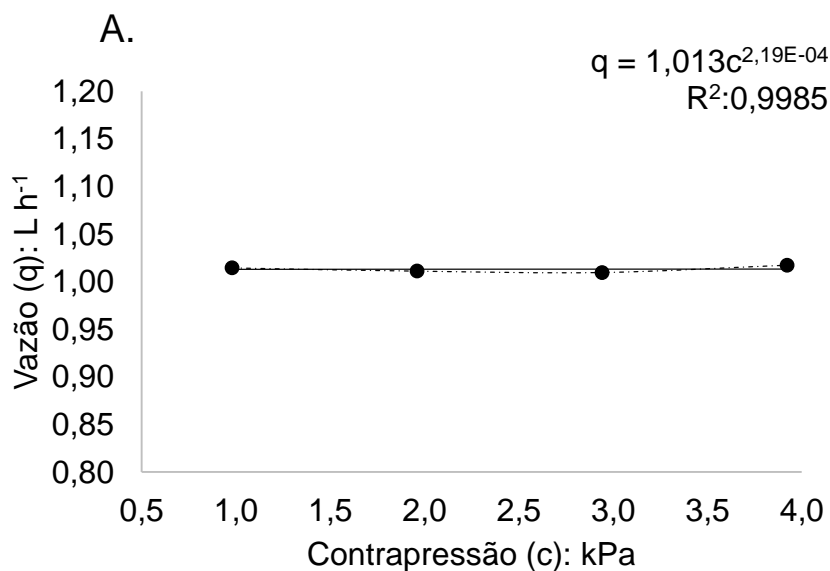
As equações foram propostas de 98 a 245 kPa, pois com pressão de 49 kPa o tubo não apresentou boa regulagem tendendo a ter vazão maior. O maior expoente da equação foi 0,00016, sendo excelente para um tubo gotejador autocompensado, pois demonstra a tendência de estabilidade da

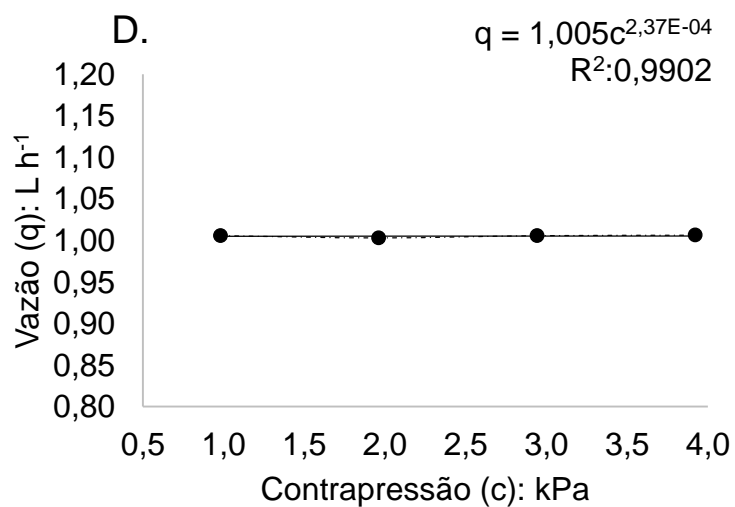
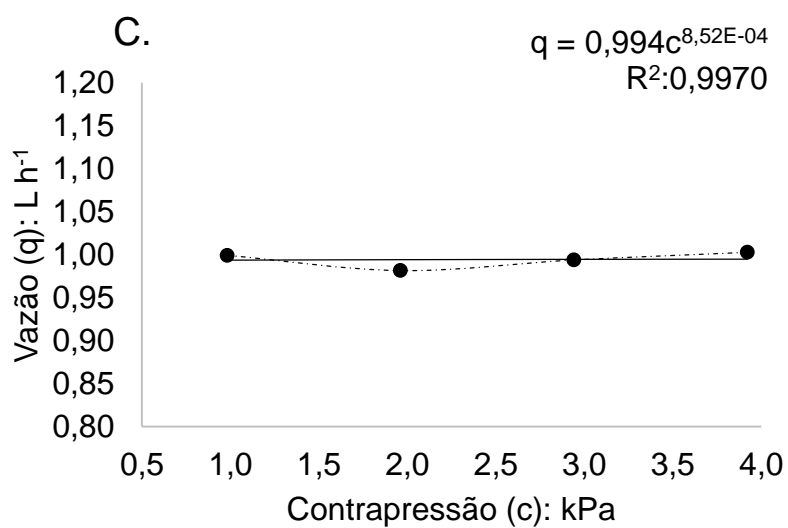
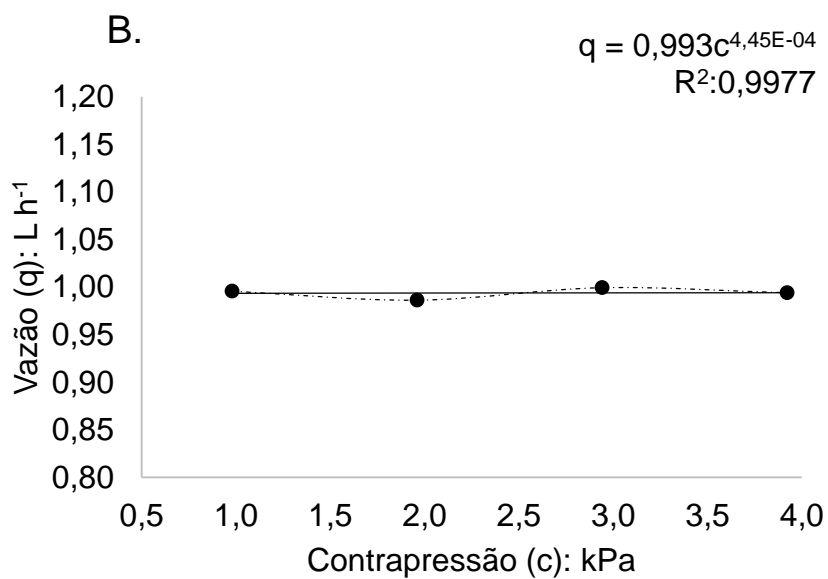
vazão com variações na pressão de entrada. Todas as equações características da relação pressão x vazão obtiveram coeficiente de determinação (R^2) de 0,9999, demonstrando que o modelo proposto é adequado para descrever o fenômeno (Figura 5).

Os resultados estão de acordo com a NBR ISO 9261 pela qual o expoente m deve ser de no máximo 0,2 para tubos emissores regulados. O expoente da equação característica do gotejador, que expressa a sensibilidade à variação de pressão variou de 0,0691 para o modelo Twin Plus a 0,0082 para o modelo Ram (DALRI et al., 2015). O referido trabalho condiz com o resultado deste, tanto no que atende a norma para emissores regulados como na variação do expoente, demonstrando baixa sensibilidade na alteração de vazão em função da pressão de entrada.

Foram também desenvolvidas as curvas características do tubo gotejador e respectivas equações características, determinação do expoente (m) e do coeficiente de determinação (R^2) para a vazão em função da contrapressão (Figura 6).

158





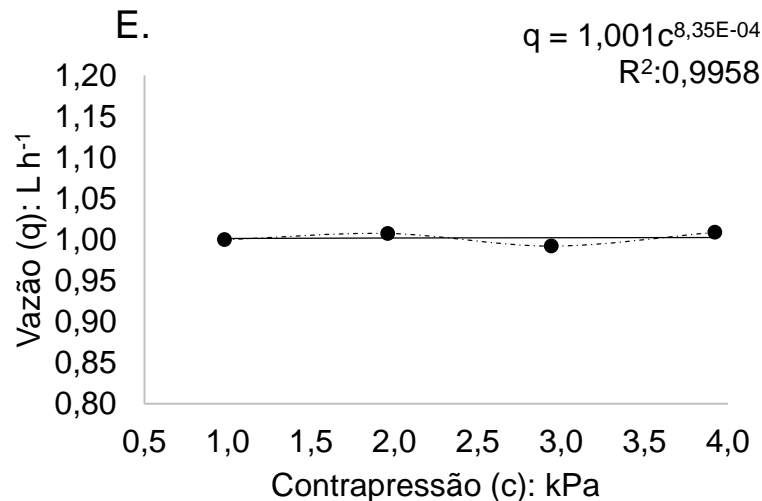


Figura 6. Curvas características, equações e coeficientes de determinação da vazão em função da contrapressão: Pressão 49,03 kPa (A), Pressão 98,06 kPa (B), Pressão 147,10 kPa (C), Pressão 196,13 kPa (D), Pressão 245,16 kPa (E).

Para a contrapressão as equações características também tiveram bom ajuste com menor R^2 (0,9902). Os expoentes dos emissores foram próximos a 0, sendo o maior 0,000852. Estas equações devem ser usadas sempre quando for necessário saber qual a vazão do emissor quando em contrapressão “x” para a pressão na qual foram desenvolvidas. Este emissor apresentou bom desempenho quando submetido a contrapressão pois manteve o expoente próximo a 0. Se um emissor é autocompensado, teoricamente, o valor do expoente seria zero (OLIVER, HEWA e PEZZANITI, 2016).

4.2. Coeficiente de variação de fabricação (CVf)

O CVf apresentou diferenças significativas com a variação da pressão de entrada e manteve-se sem variações significativas com a contrapressão. Os menores valores de CVf ocorreram com pressões de 49 e 196 kPa (Tabela 6). Conforme a ABNT NBR ISO 9261 o CVf não deve ser maior que 7%. Portanto, os coeficientes deste emissor estão dentro da regulamentação. Para Solomon (1979), a classificação desse coeficiente é de uniformidade média (entre 3 e 7).

Existe no mercado uma variedade de modelos de tubos gotejadores que apresentam diferentes valores de CVf, porém o ideal seria que os tubos

saíssem de fábrica sem nenhuma variação, com valor de CVf igual a zero. No entanto, na prática isso não acontece, pois, o processo produtivo teria que ser tão rigoroso que os custos para isso seriam proibitivos (SAAD; JEFERY, 2015).

Prado, Nunes e Tinos (2014) avaliando tubo gotejador autocompensante obtiveram CVf médio de 3,98%, que é um valor bastante próximo ao encontrado neste trabalho. Cunha et al. (2014), avaliando o mesmo tubo gotejador deste trabalho em irrigação subsuperficial em cana-de-açúcar, alcançaram CVf de 10,81% para tratamento sem fertirrigação. Ressalta-se que a avaliação foi realizada em tubo usado, enquanto neste trabalho, os CVf foram menores, porém os tubos utilizados estavam novos.

Tabela 6. Teste de médias do Coeficiente de Variação de fabricação em função da pressão de entrada, da contrapressão e da interação entre pressão e contrapressão

Fatores	CVf (%)
Pressão (mca)	
5	3,074
10	3,477
15	3,558
20	3,251
25	3,547
Teste F	4,532*
Contrapressão (kPa)	
0	3,245
0,98	3,461
1,96	3,457
2,94	3,245
3,92	3,499
Teste F	1,591 ^{ns}
Interação	
Pressão x Contrapressão	4,603*
CV (%)	13,16

* significativo pelo Teste F a 1% de probabilidade; ^{ns} não significativo pelo teste F

Sendo significativa a interação entre a pressão e contrapressão, realizou-se o desdobramento da interação, para análise detalhada das pressões e contrapressões foi realizado teste de médias da interação (Tabela 7).

Tabela 7. Coeficiente de variação de fabricação (%) em função da interação entre pressão e contrapressão

Pressão (kPa)	Contrapressão (kPa)					Teste F
	0,00	0,98	1,96	2,94	3,92	
49	2,758a1A1	3,285A2	3,580A2	2,948a1A1	2,798a1A1	2,49**
98	3,018a1A1	3,348A1	3,878A2	3,135a1A1	4,008a2A2	3,972*
147	3,013a1A1	3,663A1	3,478A1	4,348a2A2	3,290a1A1	5,10*
196	3,685a2	3,348	3,143	3,010a1	3,068a1	1,521ns
245	3,753a2A2	3,663A2	3,205A1	2,783a1A1	4,330a2A2	6,918*
Teste F	4,042*	0,697ns	1,791ns	8,004*	8,438*	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula e número na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott- Knott a 1% de probabilidade; Médias seguidas pela mesma letra maiúscula e número na linha não diferem entre si pelo teste de Scott- Knott a 1% de probabilidade; *significativo pelo Teste F a 1% de probabilidade; ** não significativo pelo teste F

O CVf manteve-se estável nas contrapressões de 0,98 e 1,96 kPa para todas as pressões, indicando que estas contrapressões não são limitantes ao uso deste tubo quanto às variações que ocorrem no processo de fabricação. Na pressão de 196 kPa, para todas as contrapressões, não houve variações significativas no CVf e esteve entre os menores valores.

4.3. Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC)

O CUC não apresentou variações significativas com a variação de pressão. Submetido a contrapressão, apresentou diferença negativa a 3,92 kPa. A interação entre pressão e contrapressão foi não significativa para o CUC (Tabela 8).

De acordo com Mantovani (2002), o CUC está excelente para todos os tratamentos. O mesmo foi relatado por Cunha F.N. et al. (2013) em que um modelo de gotejador apresentou CUC excelente em condições superficiais e subsuperficiais. Para Mantovani, Bernardo e Palaretti (2009), o CUC representa a proporção de área que irá receber no mínimo a lâmina média de aplicação.

Portanto, ao usar este tubo gotejador, espera-se que no mínimo 96,91% da área receba a lâmina média ou mais.

Tabela 8. Teste de médias do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen em função da pressão de entrada, da contrapressão e da interação entre pressão e contrapressão

Fatores	CUC (%)¹
Pressão (mca)	
5	97,60
10	96,90
15	97,09
20	97,45
25	96,91
Teste F	0,131 ^{ns}
Contrapressão (kPa)	
0	97,58 a2
0,98	97,25 a2
1,96	97,23 a2
2,94	97,53 a2
3,92	96,37 a1
Teste F	4,203*
Interação	
Pressão x contrapressão	1,578 ^{ns}
CV (%)	1,09

¹Médias seguidas pela mesma letra e número na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott- Knott a 1% de probabilidade; * significativo pelo Teste F a 1% de probabilidade; ^{ns} não significativo pelo teste F

4.4. Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)

O CUD foi maior para a pressão de 49 kPa. Por ser um tubo autorregulado, o menor CUD em pressões maiores, pode ter decorrido em função da maior necessidade da regulação da vazão.

Quando avaliados os efeitos da contrapressão o CUD apresentou valor maior em superfície, mas a 2,94 kPa não diferiu da uniformidade em superfície

indicando que o tubo pode também ter boa uniformidade em subsuperfície mas que normalmente ela diminui, conforme observado nas contrapressões de 0,98; 1,96 e 3,92 kPa (Tabela 9).

Tabela 9. Teste de médias do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição em função da pressão de entrada, da contrapressão e da interação entre pressão e contrapressão

Fatores	CUD(%)
Pressão (mca)	
5	96,44
10	95,91
15	95,67
20	96,08
25	95,82
Teste F	5,272*
Contrapressão (kPa)	
0	96,46
0,98	95,74
1,96	95,88
2,94	96,30
3,92	95,55
Teste F	8,791*
Interação	
Teste F	6,620*
CV (%)	0,6

* significativo pelo Teste F a 1% de probabilidade;

Para análise detalhada do CUD com interação das pressões e contrapressões foi realizada tabela de desdobramento (Tabela 10).

Tabela 10. Coeficiente de Uniformidade de Distribuição em função da interação entre pressão e contrapressão

Pressão (kPa)	Contrapressão (kPa)					Teste F
	0,00	0,98	1,96	2,94	3,92	
49	97,20a2A2	96,04A1	95,78A1	96,81a2A2	96,39a1A1	3,975*
98	97,01a2A2	95,91A1	95,46A1	96,40a2A2	94,81a1A1	8,693*
147	96,87a2A3	95,42A2	95,64A2	94,60a1A1	95,84a1A2	8,085*
196	95,50a1	95,91	96,22	96,49a2	96,29a2	1,803 ^{ns}
245	95,72a1A2	95,42A2	96,31A3	97,20a2A3	94,45a1A1	12,718*
Teste F	7,519*	1,045 ^{ns}	1,635 ^{ns}	12,129*	9,426*	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula e número na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott- Knott a 1% de probabilidade; Médias seguidas pela mesma letra maiúscula e número na linha não diferem entre si pelo teste de Scott- Knott a 1% de probabilidade; *significativo pelo Teste F a 1% de probabilidade; ^{ns} não significativo pelo teste F

De acordo com Merriam e Keller (1978), para todos os tratamentos o CUD é considerado excelente. Baixo valor de CUD indica que excessiva perda por percolação ocorreria se toda área recebesse lâmina maior ou igual a real necessária (Mantovani, Bernardo e Palaretti, 2009). Em subsuperfície é de grande importância que não ocorram perdas por percolação, haja vista, que a água já estará em uma profundidade e por consequência mais propensa a se perder em profundidade.

O CUD em superfície apresentou os maiores valores para pressões até 147 kPa, observando que se aumentar a pressão, o coeficiente diminui. O que demonstra haver maior quantidade de emissores com vazões menores que a média, podendo ter decorrido em função do funcionamento do regulador de pressão.

Submetido a contrapressão de 0,98 e 1,96 kPa o CUD se manteve estável com a variação de pressão de 49 a 245 kPa. A pressão de 196 kPa permitiu estabilidade do CUD em qualquer contrapressão estudada.

5. CONCLUSÕES

1 - O menor coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) obtido foi de 95,55% e o menor coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), 96,37%.

2 - As equações características, desenvolvidas neste trabalho, podem ser utilizadas para determinar a vazão tanto da condição superficial como subsuperficial, haja vista que a pressão de funcionamento do gotejador e a contrapressão em subsuperfície acarretaram variações da vazão.

3 - Existe diferença na vazão quando o tubo está em superfície ou submerso e os modelos desenvolvidos neste trabalho são adequados para determinar a vazão, tanto nas variações de pressão de entrada quanto na submersão do tubo gotejador.

6. REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR ISO 9261**: equipamentos de irrigação agrícola. Emissores e tubos emissores. Especificação e métodos de ensaio. São Paulo, 2006. p. 17.

ALVES, R. **ANA e Embrapa concluem levantamento sobre irrigação com pivôs centrais no Brasil**. Agência Nacional de Águas, Brasília-DF, 4 mar 2015. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=12669>. Acesso em: 9 maio 2016.

ANA. 2007. **GEO Brasil: recursos hídricos: resumo executivo**. Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional das Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente: Brasília, 2007. p. 60.

AYARS, J. E.; FULTON, A.; TAYLOR, B. Subsurface drip irrigation in California - Here to stay? **Agricultural Water Management**, 157, 31 jul 2015. 39-47.

BARBOSA, E. A.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R.; SILVA, T. J.; SAKAI, E. Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça e adubos minerais via água de irrigação por gotejamento subsuperficial: Ciclo da cana-planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 16, n. 9, 2012. p. 952-958. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000900005>>. Acesso em: 1 abr 2016.

BASTOS, E. A.; NOGUEIRA, C. C. P.; VELOSO, M. E. C.; ANDRADE JR, A. S.; SOUSA, V. F.; PAZ, V. P. S. Métodos e sistemas de irrigação. In: SOUSA, V. F. DE, MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F., PINTO, J. M., COELHO FILHO, M. A. (Org.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011, v. 1, p. 27-90.

BERNADO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8 ed, Viçosa: Ed. UFV, 2006.

CHRISTIANSEN, J. E. Irrigation by sprinklig. **California Agricultural Experiment Station**, Berkeley, B670, 1942. 128. Disponível em: <<https://archive.org/stream/irrigationbyspri670chri#page/22/mode/2up>>. Acesso em: 9 maio 2016.

COELHO FILHO, M. A.; BASSOI, L. H.; ANGELOCCI, L. R. ; COELHO, E. F. ; PEREIRA, F. A. C. . Relação solo-planta-atmosfera. In: SOUSA, V. F. DE, MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F., PINTO, J. M., COELHO FILHO, M. A.. (Org.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011, p. 27-90.

CUNHA, D. A. D.; COELHO, A. B.; FÉRES, J. G.; BRAGA, M. J.; SOUZA, E. C. D. Irrigação como estratégia de adaptação de pequenos agricultores às mudanças climáticas: aspectos econômicos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, n. 2, p. 369-386, 2013.

CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; OLIVEIRA, R. C.; TEIXEIRA, M. B.; CARVALHO, J. J.; GOMES FILHO, R. R. Caracterização hidráulica de gotejadores em condição superficial e subsuperficial. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada - RBAI**, Fortaleza - CE, v. 7, n. 5, p. 317-329, 2013. ISSN 1982-7679. Disponível em: <<http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/196>>. Acesso em: 1 abr 2016.

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

DALRI, A. B.; GARCIA, C. J. B.; ZANINI, J. R.; FARIA, R. T.; PALARETTI, L. F. Caracterização técnica e desempenho hidráulico de quatro gotejadores autocompensantes utilizados no Brasil. **Ciência Rural**, v. 45, n. 8, p.1439-1444, Ago. 2015. Disponível em = <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782015000801439&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 13 Out. 2016.

DANTAS NETO, J.; FARIAS, M. S. S.; Eficiência do uso da água na agricultura. In: AGUIAR NETO, A. O.; BASTOS, E. A. **Princípios agrônômicos da irrigação**. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

DUARTE, A. L. M. Efeito da água sobre o crescimento e o valor nutritivo das plantas forrageiras. **Pesquisa & Tecnologia**, Campinas -SP, v. 9, n. 2, jul-dez 2012. ISSN 2316-5146.

FEALQ - Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz. **Análise territorial para Desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil**. Piracicaba, 2014. Disponível em: <http://www.iicabr.iica.org.br/wp-content/uploads/2016/02/FEALQ-An%C3%A1lise-Territorial-Agricultura-Irrigada.pdf>. Acesso em 24/10/2016.

LIMA FILHO, A. F. Determinação analítica da performance da irrigação por sulcos abertos e em declive. **Ceres**, v. 62, n. 3, 2015.

MANTOVANI, E.C. **Avalia**: manual do usuário. Viçosa: DEA/UFV–PNP&D/café Embrapa, 2002.

MANTOVANI, E.C; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação**: princípios e métodos. 3. ed. Viçosa: UFV, 2009.

MANZATTO, C. V.; ASSAD, E. D.; BACA, J. F. M.; ZARONI, M. J.; PEREIRA, S. E. M. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar**: Expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro. Embrapa Solos. Rio de Janeiro, p. 55. 2009. (1517-2627).

MARTINS, G. A.; DOMINGUES, O. **Estatística geral e aplicada**. 5. Ed. rev. e ampl. – São Paulo: Atlas, 2014, p. 310 - 339.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management.** Logan: Utah State University, 1978. 271p.

NASCIMENTO, T.; SOARES, J. M.; AZEVEDO, C. A. V. Caracterização hidráulica do microaspersor Rain-Bird QN-14. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 30-33, 1999.

NOGUEIRA, C. C. P.; COELHO, E. F.; LEO, M. C. S. Características e dimensões do volume de um solo molhado sob gotejamento superficial e subsuperficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. [online]. 2000, vol. 4, n. 3, pp.315-320. ISSN 1415-4366. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662000000300002>.

OLIVER, M. M. H.; HEWA, G. A.; PEZZANITI, D. Thermal variation and pressure compensated emitters. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v. 176, Out 2016.

PETERNELLI, L. A. INF 162 - **Estatística I**. Viçosa - MG. 2005. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Apostila).

PIRES, R. D. M.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E.; CALHEIROS, R. D. O.; BRUNINI, O. Agricultura irrigada. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v. 1, p. 98-111, 2008.

PRADO, G.; NUNES, L. H.; TINOS, A. C. Avaliação técnica de dois tipos de emissores empregados na irrigação localizada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v. 8, n. 1, p. 12 - 25, 2014.

RIBEIRO, P. H. P.; TEIXEIRA, M. B.; COELHO, R. D.; UYEDA, C. A.; DANTAS NETO, J. Caracterização hidráulica e histerese em tubos gotejadores utilizados na irrigação subsuperficial. **Irriga**, v. 19, n. 3, p. 430-440, 2014.

SAAD, J. C. C.; JEFERY, A. P. R. S. Efeito da espessura da parede no desempenho hidráulico de mangueiras gotejadoras. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 139-149, 2015.

SANTOS, R. A.; HERNANDEZ, F. B.; FERREIRA, E. J.; VANZELA, L. S.; LIMA, R. C.. Uniformidade de distribuição de água em irrigação por gotejamento em sub-superfície instalado na cultura de pupunheiras (*Bactris gasipaes* H.B.K.). **In: XXXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. Goiânia: [s.n.]. 2003.

SEO, N. An analysis of public adaptation to climate change using agricultural water schemes in South America. **Ecological Economics**, v. 70, n. 4, p. 825-834, 2011.

SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle emitters irrigation equipment. **American Society of Agricultural Engineers**, v. 22, p. 1034-1038, 1979.

SOUZA, W. J.; BOTREL, T. A.; COELHO, R. D.; NOVA, N. A. V. Subsurface drip irrigation: conventional dripper and new prototype. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 811-819, ago. 2012.

TESTEZLAF, R. FA876. Técnicas de irrigação. irrigação: técnicas, usos e impactos. Unicamp, 2002. 1 CD-ROM (notas de aula).

THEBALDI, M. S.; LIMA, L. A.; ALMEIDA, W. F. D.; ANDRADE, R. R. Backpressure effects on the flow-pressure relation of driplines. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 1, p. 55-62, 2016.

YAO, W. W.; MA, X. Y.; LI, J.; PARKES, M. Simulation of point source wetting pattern of subsurface drip irrigation. **Irrigation Science**, v. 29, n. 4, p. 331-339, 2011.