

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 31/08/2022.

JHONATAN CABRERA PIAZENTIN

**ESTIMATIVA DA PERDA DE CARGA EM TUBULAÇÃO COM MÚLTIPLAS
SAÍDAS EQUIDISTANTES**

Botucatu

2019

JHONATAN CABRERA PIAZENTIN

**ESTIMATIVA DA PERDA DE CARGA EM TUBULAÇÃO COM MÚLTIPLAS
SAÍDAS EQUIDISTANTES**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem)

Orientador: Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho

Coorientador: Prof. Dr. João Luis Zocoler

Botucatu

2019

P584c

Piazzentin, Jhonatan Cabrera

Estimativa da perda de carga em tubulação com múltiplas saídas equidistantes / Jhonatan Cabrera Piazzentin. -- Botucatu, 2019

69 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Luís Roberto Almeida Gabriel Filho

Coorientador: João Luis Zocoler

1. Perda de carga em tubulações. 2. Múltiplas saídas equidistantes.
3. Irrigação localizada. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


Título: **“ESTIMATIVA DA PERDA DE CARGA EM TUBULAÇÃO COM MÚLTIPLAS SAÍDAS EQUIDISTANTES”**


AUTOR: JHONATAN CABRERA PIAZENTIN

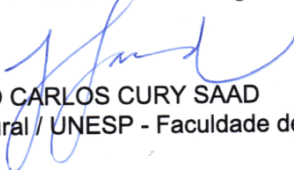
ORIENTADOR: LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO

COORIENTADOR: JOAO LUIS ZOCOLER

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO
Coordenadoria do Curso de Administração / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP - Tupã/SP


Prof. Dr. DANIEL DOS SANTOS VIAIS NETO
Coordenadoria do Curso de Tecnologia em Agronegócio / Faculdade de Tecnologia de Presidente Prudente


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

Botucatu, 31 de julho de 2019.

*Primeiramente a Deus, aos meus amados pais,
Wagner e Rosana, e irmã Franciele, por existirem
em minha vida, pois sem eles jamais chegaria nesta
etapa da vida.*

Dedico

*A minha noiva Giovana, pelo apoio incondicional, e que nos
momentos de maior dificuldade esteve ao meu lado para superar
esta batalha.*

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente por permitir viver essa experiência, por guiar meus passos e por estar ao meu lado em todos os momentos de felicidade ou de dificuldade durante toda a minha vida. Agradeço por todas as bênçãos!

Aos meus queridos pais, Vagner e Rosana, pela insubstituível importância em minha vida, não mediram esforços para me apoiarem e nunca desistiram de lutar para que este sonho se tornasse realidade. Muito obrigado pela educação, e por todo ensinamento que transmitiram para mim no decorrer dos momentos da vida. Meu infinito agradecimento.

A minha irmã Franciele que sempre esteve ao meu lado, me suportando e me ajudando nos momentos de maior dificuldade.

A minha noiva Giovana pelo apoio incondicional, e por ser tão especial em minha vida. Nos momentos de tamanha dificuldade me apoiou, mostrando que eu poderia ir além e nunca desistir desta batalha. Seu carinho, amor, companheirismo, apoio, e paciência, sem dúvidas foram a base para a concretização deste sonho.

Ao meu sogro José Carlos, minha sogra Gislaine e meu cunhado Ricardo que no decorrer de toda a fase do mestrado estiveram presentes, e me deram suporte para realização de mais uma etapa da vida.

A minha amada vó Doraci (In Memoriam). Eu pude concretizar um de vossos sonhos. Saiba que nunca esquecerei dos conselhos e puxões de orelha. Que a senhora esteja neste momento comemorando esta vitória.

A toda minha família pelo apoio incondicional. Meus sinceros agradecimentos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho, vulgo (Beto) pela orientação, ensinamentos, dedicação, paciência, incentivo e por todas as lições dadas desde o momento da graduação. Obrigado por acreditar em minha capacidade, e por me guiar na elaboração da dissertação e dos trabalhos científicos. O senhor é um exemplo de pessoa/professor. Meus sinceros agradecimentos.

Ao meu coorientador e amigo Prof. Dr. João Luis Zocoler pela oportunidade de trabalhar junto com o senhor e adquirir conhecimentos cujo os mesmos me guiaram na parte experimental. Minha gratidão pela imensa paciência, orientação e apoio fornecidos para a realização deste trabalho.

Ao meu amigo e Prof. Dr. Tiago Vicentin pela importantíssima contribuição no desenvolvimento do protótipo realizado durante o processo do mestrado, bem como pelos ensinamentos e orientações para o procedimento metodológico mais importante do presente trabalho.

Ao meu amigo e Prof. Dr. Alfredo Bonini por generosamente contribuir com toda sua humildade, orientação e disponibilidade na construção de trabalhos científicos durante o mestrado.

Ao meu amigo Ms. Bruno Góes pela amizade, paciência, companheirismo, incentivo, e convívio durante toda a fase do mestrado, e nas disciplinas cursadas na FCA-UNESP.

Ao meu amigo Dr. Ricardo de Lima Vasconcelos pelo seu companheirismo, e importantíssima e altruísta contribuição em dúvidas pertencentes ao trabalho. Todo o apoio e dicas, foram valiosas para que eu pudesse chegar à finalização deste trabalho.

Ao meu grande amigo Maurílio Usó, pelo companheirismo, honestidade, humildade durante as aulas. Pelas suas experiências, orientações e contribuições durante todo o nosso mestrado. Exemplo nítido de pessoa a ser seguida.

A Faculdade de Ciências Agronômicas FCA-UNESP Campus Botucatu pela base sólida e pela oportunidade em poder realizar este trabalho.

Aos funcionários e docentes da Faculdade de Ciências Agronômicas FCA-UNESP, em especial aos amigos Gilberto, Israel, e Fabiana pelo exemplo de pessoas que são.

Ao CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudo concedida.

Aos Professores do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas da FCA-UNESP, pelas disciplinas ministradas que enriqueceram a minha formação.

A todos os meus familiares, amigos, alunos e professores que contribuíram de maneira direta ou indireta para eu chegar até aqui.

“Se você quer ser bem sucedido, precisa ter dedicação total, buscar seu último limite e dar o melhor de si”

Ayrton Senna da Silva

RESUMO

A compreensão sobre as perdas de carga em tubulações e acessórios hidráulicos influencia de forma decisiva o dimensionamento das redes de irrigação, sendo fundamental que sua aferição seja representada/realizada de forma eficiente. Objetivou-se comparar os valores de perda de carga em linha lateral de gotejamento sob sete condições i) estimada pela fórmula de Hazen-Williams trecho a trecho; ii) estimada pela fórmula de Hazen-Williams utilizando o fator de Christiansen; iii) estimada pela fórmula de Flamant trecho a trecho; iv) estimada pela fórmula de Flamant utilizando o fator de Christiansen; v) estimada pela fórmula de Darcy-Weisbach trecho a trecho; vi) estimada pela fórmula de Darcy-Weisbach utilizando o fator de Christiansen; vii) valores observados experimentalmente numa linha de gotejamento, em que se fez presente os 3 regimes de escoamento, ou seja, turbulento, transição e laminar que ocorre sempre no segmento final da linha de gotejadores. O experimento foi conduzido no Laboratório de Ensaios de Equipamentos de Irrigação do Departamento de Engenharia Rural, da Faculdade de Ciências Agrônômicas-FCA Campus de Botucatu. Para aferição das pressões na linha de irrigação foi desenvolvido um dispositivo portátil (Datalogger) capaz de medir e registrar os valores de pressão no início e final da linha, em cada segmento de regime de escoamento (turbulento, transição e laminar). A perda de carga localizada devido a inserção dos gotejadores na tubulação foi avaliada pela diferença entre a perda de carga na tubulação sem e com os gotejadores inseridos, porém estando os mesmos obstruídos. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 7x4, ou seja, as sete maneiras de estimar ou observar a perda de carga em quatro níveis de pressão (5, 10, 15 e 20 mca – metros de coluna d'água) e 4 repetições. No ensaio de perda de carga sem a inserção dos gotejadores os valores obtidos pelas fórmulas Universal, Hazen-Williams e Flamant subestimaram os valores em relação aos valores observados; No entanto, na presença dos gotejadores vedados, a perda de carga localizada representou uma fração de 31% em relação à total, e quando na presença de gotejadores operando normalmente, houve efeito das interações entre pressões e tratamentos.

Palavras-chave: Perda de carga em tubulações. múltiplas saídas equidistantes. irrigação localizada.

ABSTRACT

Understanding load losses in hydraulic pipes and fittings decisively influences the design of irrigation networks, and it is essential that their measurement be performed efficiently. The objective of this study was to compare the load loss values in the lateral line of drip irrigation under seven conditions (i) estimated by the Hazen-Williams formula; ii) estimated by the Hazen-Williams formula using the Christiansen factor; iii) estimated by the Flamant formula in the following sections; iv) estimated by the Flamant formula using the Christiansen factor; (v) estimated by Darcy-Weisbach's formula; vi) estimated by the Darcy-Weisbach formula using the Christiansen factor; vii) experimentally observed values in a drip line, in which the three flow regimes, ie, turbulent, transition and laminar regimes, which always occur in the final segment of the drip line, were present. The experiment was conducted at the Laboratory of Tests of Irrigation Equipment of the Department of Rural Engineering, Faculty of Agronomic Sciences-FCA Campus de Botucatu. To measure the pressures in the irrigation line, a portable device (Datalogger) was developed able to measure and record the pressure values at the beginning and end of the line, in each segment of flow regime (turbulent, transition and laminar). The localized load loss due to the insertion of the drippers in the pipeline was evaluated by the difference between the loss of load in the piping without and with the inserted drippers, but they were obstructed. The experimental design was completely randomized in a 7x4 factorial scheme, that is, the seven ways of estimating or observing the pressure loss in four pressure levels (5, 10, 15 and 20 mc - meters of water column) and 4 repetitions. In the pressure drop test without dripper insertion, the values obtained by the formulas Universal, Hazen-Williams and Flamant underestimated the values in relation to the observed values; However, in the presence of sealed drippers, localized pressure drop represented a fraction of 31% of the total, and when in the presence of normally operating drippers, there was an effect of interactions between pressures and treatments.

Keywords: Loss of load on pipes. multiple equidistant outputs. localized irrigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Seção longitudinal com inserção do gotejador “on-line”.....	33
Figura 2 -	Laboratório de Irrigação onde foi desenvolvida a parte experimental.....	34
Figura 3 -	Moto-bombas centrífugas Schneider BCR-2000, manômetro de controle de pressão da saída das bombas, filtro de discos e hidrômetro.....	35
Figura 4 -	Balança de precisão utilizada para determinação do volume de cada trecho.....	36
Figura 5 -	Ferramenta cônica desenvolvida.....	38
Figura 6 -	Paquímetro Digital utilizado nas medições.....	39
Figura 7 -	Posição dos pontos medidos em seção transversal nos tubos emissores.....	39
Figura 8 -	Modelo do gotejador utilizado na parte experimental.....	41
Figura 9 -	Mesa hidráulica utilizada na calibração do protótipo desenvolvido.....	42
Figura 10 -	Valores binários do conversor analógico em função da pressão..	44
Figura 11 -	Hidrômetro utilizado nos ensaios de perda de carga.....	45
Figura 12 -	Curvas de vazão versus perda de carga nos ensaios sem e com os gotejadores inseridos na linha.....	51
Figura 13 -	Erro dos tratamentos da perda de carga total em comparação com tratamento testemunha (observado).....	53
Figura 14 -	Boxplot da perda de carga total em função dos métodos (T1 – perda de carga observada, T2 – perda de carga estimada pela equação universal trecho a trecho, T3 – perda de carga estimada pela equação de Hazen-Williams trecho a trecho, T4 – perda de carga estimada pela equação de Flamant trecho a trecho, T5 – perda de carga pela equação universal aplicando fator de múltiplas saídas de Christiansen, T6 – perda de carga pela equação de Hazen-Williams aplicando fator de múltiplas saídas de Christiansen, T7 – perda de carga pela equação de Flamant aplicando fator de múltiplas saídas de Christiansen e pressões de (5, 10, 15, 20 mca).....	54
Figura 15 -	Erro dos tratamentos da perda de carga em regime de escoamento turbulento em comparação com tratamento testemunha (observado).....	55
Figura 16 -	Boxplot da perda de carga em regime turbulento em função dos métodos (T1 – perda de carga observada, T2 – perda de carga estimada pela equação universal, T3 – perda de carga estimada pela equação de Hazen-Williams, T4 – perda de carga estimada pela equação de Flamant) e para as pressões de (5, 10, 15, 20 mca).....	56
Figura 17 -	Boxplot da perda de carga em regime de transição em função dos métodos (T1 – perda de carga observada pelo protótipo desenvolvido, T2 – perda de carga estimada pela equação	

	universal, T3 – perda de carga estimada pela equação de Hazen-Williams, T4 – perda de carga estimada pela equação de Flamant).....	57
Figura 18 -	Boxplot da perda de carga em regime de escoamento laminar em função dos métodos (T1 – perda de carga observada, T2 – perda de carga estimada pela equação universal em regime laminar, T3 – perda de carga estimada pela equação de Hazen-Williams em regime laminar, T4 – perda de carga estimada pela equação de Flamant).....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Valores da rugosidade absoluta para diferentes tipos de materiais.....	25
Tabela 2 -	Coeficiente C de Hazen-Williams para diferentes materiais.....	28
Tabela 3 -	Coeficiente b de Flamant em função do tipo de material.....	29
Tabela 4 -	Diâmetro interno da tubulação a partir do método do volume.....	38
Tabela 5 -	Diâmetro interno pelo método do paquímetro e cônica desenvolvida.....	40
Tabela 6 -	Valores observados (bits) em função da pressão (mca) utilizados na calibração do protótipo desenvolvido, com coeficientes a e b calculados em cada função linear ($y = ax + b$) entre dois pontos consecutivos.....	43
Tabela 7 -	Ensaio de perda de carga sem inserção dos gotejadores.....	49
Tabela 8 -	Ensaio de perda de carga com gotejadores vedados.....	50
Tabela 9 -	Análise estatística para perda de carga total.....	52
Tabela 10 -	Análise estatística para perda de carga em regime turbulento....	54
Tabela 11 -	Análise estatística para perda de carga em regime de transição.....	56
Tabela 12 -	Erro absoluto de cada tratamento em relação ao T1 (observado) em regime de transição.....	57
Tabela 13 -	Análise estatística para perda de carga em regime de escoamento laminar.....	58
Tabela 14 -	Erro absoluto de cada tratamento em relação ao T1 (observado) em regime de escoamento laminar.....	59
Tabela 15 -	Predição do regime de escoamento do ensaio de perda de carga estimada e observada (Repetição 1 - 20 mca).....	65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	23
2.1	Fórmula de Darcy-Weisbach para perda de carga em tubulações.....	24
2.2	Fórmula de Hazen-Williams para perda de carga em tubulações.....	27
2.3	Fórmula de Flamant para perda de carga em tubulações.....	28
2.4	Perda de carga em tubulações com múltiplas saídas equidistantes.....	29
2.5	Perda de carga localizada na inserção do gotejador.....	32
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3.1	Equipamentos utilizados nos três ensaios de perda de carga.....	35
3.2	Instrumento eletrônico desenvolvido.....	41
3.3	Ensaio de perda de carga na mangueira de polietileno sem emissores.....	45
3.4	Ensaio de perda de carga na mangueira de polietileno com os gotejadores vedados.....	46
3.5	Ensaio de perda de carga na linha lateral com os gotejadores em operação.....	46
3.6	Delineamento experimental.....	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
4.1	Perda de carga sem gotejadores (mangueira sem o efeito da obstrução parcial da inserção dos gotejadores).....	49
4.2	Perda de carga com os gotejadores vedados (mangueira com o efeito da obstrução parcial da inserção dos gotejadores).....	50
4.3	Perda de carga com os gotejadores em operação – linha lateral completa.....	51
4.4	Perda de carga com os gotejadores em operação – segmento turbulento.....	54
4.5	Perda de carga com os gotejadores em operação – segmento de transição.....	56
4.6	Perda de carga com os gotejadores em operação – segmento laminar.....	57
5	CONCLUSÕES.....	60
	REFERÊNCIAS.....	61
	ANEXO A – Predição do regime de escoamento para a pressão de 20 mca na repetição 1.....	65

1 INTRODUÇÃO

Elevar a produtividade na agricultura, utilizando com maior eficiência os insumos entre os quais a água é um dos desafios da agricultura.

Particularmente, o uso da água para fins de irrigação agrícola deve ser fortemente monitorado, pois envolve grandes áreas e volumes aplicados. No Brasil, há 6,7 milhões de ha (ANA, 2017) sob irrigação nos diversos métodos de aplicação de água, seja por inundação, aspersão, localizada, sulcos e nas diversas culturas, tais como: arroz, feijão, hortaliças, frutas, café e mesmo cana-de-açúcar. Segundo dados da FAO (2013), o Brasil está entre os dez países com o maior potencial de irrigação do mundo. Os líderes mundiais neste contexto são a China e a Índia, com cerca de 70 milhões de hectares (Mha) cada, seguidos dos EUA com 26,7 Mha, do Paquistão com 20,0 Mha e do Irã com 8,7 Mha. O Brasil está no grupo de países que possui uma área entre 4 e 7 Mha, que inclui também Tailândia, México, Indonésia, Turquia, Bangladesh, Vietnã, Uzbequistão, Itália e Espanha.

Para ANA (2017), o potencial de expansão em área pode perfazer conforme estudos conduzidos pela Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente no final dos anos 1990, revisados Christofidis (2002) um potencial de desenvolvimento da irrigação de 29,56 milhões de hectares, dos quais cerca de 50% estariam na região Norte. Essa avaliação considerou a aptidão dos solos (classes 1 a 4), a disponibilidade de água e o atendimento à legislação ambiental da época.

Dentre os sistemas de irrigação utilizados na agricultura, o de via gotejamento apresenta grande aplicação, eficiência e seu rendimento pode ser aumentado com a avaliação e redução de fatores que prejudicam a uniformidade de emissão, tais como: oscilações térmicas ao longo da lateral, desnível geométrico, obstrução e variação de vazão de emissores, variação de pressão por perda de carga, entre outros (GOMES et al., 2010).

A perda de carga localizada que é referente à perturbação súbita que o fluido sofre devido a algum elemento inserido no tubo, geralmente é desprezada em tubulações sem emissores, no entanto, mostram-se significativas e de relevante importância para o dimensionamento das linhas laterais, onde estão inseridos os emissores (AL-AMOUD, 1995; RETTORE NETO et al., 2009; GOMES et al., 2010). A desconsideração da perda de carga localizada, resulta em superestimativa do

comprimento máximo da linha lateral em até 27,5 e 9,5% para gotejadores autocompensados e não autocompensados respectivamente (GOMES et al., 2010).

As variações finais podem se tornar maiores ainda, quando se utiliza sistemas de irrigação com múltiplas saídas, pois de acordo com Scaloppi e Allen (1993), o sistema deve apresentar uma vazão uniforme, contudo variável ao longo do comprimento da tubulação.

Diante do exposto, esse trabalho teve como objetivo comparar os valores da perda de carga observados em linha lateral de gotejamento como os estimados pelas fórmulas de Hazen-Williams, Flamant e Darcy-Weisbach, seja pela aplicação trecho a trecho nos intervalos entre gotejadores, ou utilizando o fator de Christiansen (1942). A comparação considerou a linha lateral completa e, também, separadamente para os segmentos turbulento, transição e laminar. Avaliou-se também o efeito da perda de carga localizada devido a inserção dos gotejadores na tubulação em relação à perda de carga total.

5 CONCLUSÕES

Em relação as proposições do trabalho, pode-se concluir que:

- No ensaio de perda de carga sem a inserção dos gotejadores os valores obtidos pelas fórmulas Universal, Hazen-Williams e Flamant subestimaram os valores de perda de carga em relação aos valores observados;

- No ensaio de perda de carga com a inserção dos gotejadores, porém com eles vedados, a perda de carga localizada representou uma fração muito expressiva em relação à total, algo em torno de 31%;

- No ensaio com os gotejadores operando normalmente, apesar dos gotejadores serem autocompensantes e operarem dentro do intervalo recomendado pelo fabricante, houve o efeito dos níveis de pressão e das fórmulas de cálculo, bem como o efeito interativo delas em relação à perda de carga observada. A fórmula de Flamant (trecho a trecho ou com fator de Christiansen) superestimou as perdas enquanto as de Hazen-Williams e a Universal subestimaram. Os desvios médios foram em ordem decrescente: fórmula de Flamant, fórmula de Hazen-Williams, fórmula Universal.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Brasília, 2017.

ALLEN, R. G. Relating the Hazen-Williams and Darcy-Weisbach Friction loss equations for pressurized irrigation. **Applied Engineering in Agriculture**, Michigan, v.12, n.6, p.685-693, 1996.

AL-MOUND, A. I. Significance of energy losses due to emitter connections in trickle irrigation lines. **Journal of Agriculture Engineering Research**, Silsoe, v. 60, n. 1, p.1-5, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **PNBR 04:015.08-015**: irrigação localizada: microaspersores: requisitos gerais e métodos de ensaio. São Paulo, 2004. 11 p.

ASSY, T. M. Emprego da fórmula universal da perda de carga e as limitações das fórmulas empíricas. **CETESB**, São Paulo, p. 1-64, 1977.

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ, M. F.; ARAUJO, R.; ITO, A. E. **Manual de hidráulica**. 8.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

BARR, D. I. H. Solutions of the Colebrook–White function for resistance to uniform turbulent flow. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**, London, v. 71, n. 2, p. 529-536, 1981.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Editora da UFV, 2009.

BOTREL, T. A. **Hidráulica de micro-aspersores e de linhas laterais de irrigação localizada**. Piracicaba. 1984. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1984.

CARDOSO, G. G. G. **Índice geométrico na determinação da perda de carga localizada em conexão de emissores sobre tubos de polietileno de pequenos diâmetros**. 2007. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

CARVALHO, J. A.; OLIVEIRA, L. F. C. **Instalações de bombeamento para irrigação**: hidráulica e consumo de energia. 2. ed. Lavras: Editora da UFLA, 2014.

CASTIBLANCO, C. J. M. **Modelo computacional para o dimensionamento da subunidade em irrigação localizada**. 2013. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

CHEN, N. H. An explicit equation for friction factor in pipes. **Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals**, New York, v. 18, n. 3, p. 296-297, 1979.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinklers**. Bulletin. 670. University of Califórnia. Berkeley, Califórnia, 1942.

- CHRISTOFIDIS, D. **Considerações sobre conflitos e uso sustentável em recursos hídricos, em Conflitos e uso sustentável dos recursos naturais.** Brasília: Garamont, 2002.
- CHURCHILL, S. W. Empirical expressions for the shear stress in turbulent flow in commercial pipe. **American Institute of Chemical Engineers**, New York, v. 19, n. 2, p. 375-376, 1973.
- COLEBROOK, C. F. Turbulent Flow in Pipes, with Reference to the Transition Region between the Smooth and Rough Pipes Laws. **Journal of the Institution of Civil Engineers**, London, v. 11, n. 4, p. 133-156, 1938.
- GOMES, A. W. A.; FRIZZONE, J. A.; NETO, O. R.; DE MIRANDA, J. H. Perda de carga localizada em gotejadores integrados em tubos de polietileno. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 435-446, 2010.
- GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento.** 3. ed. Campina Grande: UFPB, 1999.
- HAALAND, S. E. Simple and explicit formulas for friction factor in turbulent pipe flow. **Journal of Fluids Engineering**, New York, v. 105, n. 1, p. 89-90, 1983.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 9261. **Agricultural irrigation equipment emitters and emitting pipe: specification and test methods.** 2. ed. Geneva, 2004.
- JUANA, L.; RODRÍGUEZ-SINOBÁS, L.; LOSADA, A. Determining minor head losses in drip irrigation laterals. I: Methodology. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 128, n. 6, p. 376-384, 2002.
- KAMAND, F. Z. Hydraulic friction factors for pipe flow. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 114, n. 2, p. 311-323, 1988.
- LAPERUTA NETO, J. **Perda de carga em mangueiras gotejadoras novas, usadas e com emissores entupidos.** 2010. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho, Botucatu, 2010.
- MELLO, C. R.; FERREIRA, D. F.; CARVALHO, J. A. Equações explícitas para o fator de atrito da equação de Darcy-Weisbach. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.3, n.2, p.365-371,1999.
- OLIVEIRA, C. A. S. **Hidráulica de gotejadores e de linhas laterais de irrigação por gotejamento.** 1978. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1978.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **Global Map of Irrigation Areas version 5**, Roma, 2013.
- PORTO, R. M. **Hidráulica básica.** 4 ed. São Carlos: EESC-USP, 2006.
- PROVENZANO, G.; PUMO, D. Assessing a local losses evaluation procedure in microirrigation integrated lateral design. In: Meeting of the International Commission on Irrigation and Drainage (ICID), 54., 2003, Montpellier. **Proceeding**, Montpellier: FAO/ICID, 2003.
- PROVENZANO, G.; PUMO, D. Experimental analysis of local pressure losses for microirrigation laterals. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.130, n. 4, p. 318-324, 2004.

PROVENZANO, G.; PUMO, D; DIDIO, P. Simplified procedure to evaluate head losses in drip irrigation lateral. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 131, n. 6, p. 525-532, 2005.

RETTORE NETO, R. O.; FRIZZONE, J. A.; MIRANDA, J. H.; BOTREL, T. A. **Perda de carga localizada em emissores não coaxiais integrados a tubos de polietileno**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 29, n.1, p. 28-39, 2009.

ROBAINA, D. A. Análise de equações explícitas para o cálculo do coeficiente “f” da fórmula universal de perda de carga. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.22, n.2, p. 157-159, 1992.

ROMEO, E.; ROYO, C.; MONZÓN, A. Improved explicit equations for estimation of the friction factor in rough and smooth pipes. **Chemical Engineering Journal**, Amsterdam, v. 86, n. 3, p. 369-374, 2002.

SCALOPPI, E. J.; ALLEN, R. G. Hydraulic of irrigation laterals: comparative analysis. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Nova York, v. 119, n. 1, p. 91-115, 1993.

SONNAD, J. R.; GOUDAR, C. T. Turbulent flow friction factor calculation using a mathematically exact alternative to the Colebrook-White equation. **Journal of Hydraulic Engineering**, New York, v. 132, n. 8, p. 863-867, 2006.

SOUSA, J.; CUNHA, M. DA C.; MARQUES, A. S. An explicit solution of the Colebrook-White equation through simulated annealing. **Water Industry Systems: Modelling and Optimization Applications**, Baldok, v.2, n.1 p.347-355, 1999.

SWAMEE, P. K. Design of a submarine oil pipeline. **Journal of Transportation Engineering**, Reston, v. 119, n. 1, p. 159- 170, 1993.

VILAÇA, F. N. **Perda de carga em conectores iniciais da irrigação localizada**. 2012. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

YILDIRIM, G. An assessment of hydraulic design of trickle laterals considering effect of minor losses. **Irrigation and Drainage**, New Delhi, v. 56, n. 4, p. 399-421, 2007.