

## DESEMPENHO DO MEDIDOR ULTRASSÔNICO DE VAZÃO EM DIFERENTES TUBOS DE POLICLORETO DE VINILA

**BRUNA DALCIN PIMENTA<sup>1</sup>; ADROALDO DIAS ROBAINA<sup>1</sup>; MARCIA XAVIER PEITER<sup>1</sup>; JARDEL HENRIQUE KIRCHNER<sup>1</sup>; WELLINGTON MEZZOMO<sup>1</sup> E ROGÉRIO RICALDE TORRES<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Departamento de Engenharia Rural, Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, nº 1000, Bairro Camobi, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: brunadpimenta@gmail.com; diasrobaina@gmail.com; mpeiter@gmail.com; jardelkirchner@hotmail.com; wmezzomo@hotmail.com.*

<sup>2</sup>*Departamento de Ensino, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Rua João Viterbo de Oliveira, nº 3061, Zona Rural, 95200-000, Vacaria, RS, Brasil. E-mail: rogerio.torres@vacaria.ifrs.edu.br.*

### 1 RESUMO

Os projetos relacionados à utilização ou manejo da água tem como ponto de partida a medida da vazão através de medidores específicos para sua mensuração. Um exemplo disso são os medidores de vazão ultrassônicos, os quais utilizam o método ultrassom e suas principais características são alta precisão e mobilidade, sendo de fácil utilização no meio urbano, industrial e rural. Este trabalho teve como propósito avaliar o desempenho de um medidor ultrassônico de vazão comparado com o método padrão hidrômetro, em diferentes tubos de PVC. O experimento foi realizado em um sistema de bombeamento de água em circuito fechado, no Laboratório de Hidráulica Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria, RS. Foram utilizados tubos de PVC de distintas cores e utilizações, todos com 50 mm de diâmetro nominal e diferentes espessuras da parede. Foi atribuído o Índice de Desempenho e seu enquadramento em classes de desempenho, a fim de comparar os valores de vazão obtidos pelos dois métodos (ultrassônico e hidrômetro). Para os tubos de PVC branco e marrom, a classe de desempenho foi classificada como “Excelente”, enquanto que para o tubo de PVC azul foi “Bom”.

**Palavras chave:** condutos forçados, hidrometria, método ultrassom.

**PIMENTA, B. D.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; KIRCHNER, J. H.; MEZZOMO, W.; TORRES, R. R.**  
**PERFORMANCE OF ULTRASONIC FLOW METER IN DIFFERENT VINYL POLYCHLORIDE PIPES**

### 2 ABSTRACT

The projects related to the use or management of water have as starting point the measurement of flow through meters specific for their measurement. An example of this is the ultrasonic flowmeters, which use the ultrasound method and having as main characteristics high precision and mobility, being easy to use in urban, industrial and rural environments. The purpose of this

work was to evaluate the performance of an ultrasonic flow meter compared to the standard hydrometer method in different PVC pipes. The experiment was carried out in a closed water pumping system at the Agricultural Hydraulics Laboratory of the Federal University of Santa Maria, RS. PVC tubes of different colors and uses were used, all with a nominal diameter of 50 mm and different wall thicknesses. The Performance Index and performance classes were assigned to compare the flow values obtained by the two methods (ultrasonic and hydrometer). For the white and brown PVC tubes, the performance class was rated "Excellent", while for the blue PVC pipe it was "Good".

**Keywords:** penstocks, hydrometric, ultrasound method.

### 3 INTRODUÇÃO

Quando se trata de projetos relacionados à utilização ou manejo da água é de objetivo comum a adoção de técnicas que otimizem a sua utilização, reduzindo perdas e melhorando a eficiência do sistema nos processos de distribuição e aplicação.

Para garantir uma distribuição uniforme da água dentro de uma área irrigada e um manejo adequado do recurso hídrico disponível, é essencial utilizar técnicas precisas de medição da vazão (CAMARGO, 2009).

Segundo Pérez-Urrestarazu e Burt (2012), uma das causas do elevado custo com bombeamento de água em sistemas irrigados pode ser atribuída ao excesso de água recalcado, merecendo, dessa forma, destaque a vazão, que passa a ser um dos itens que definem o custo de produção.

Buscam-se aparelhos que facilitem a mensuração da vazão, principalmente os portáteis, como os medidores de vazão que utilizam o método ultrassom e possuem elevada precisão. O medidor ultrassônico possui acurácia de aproximadamente 1% (HEINER; BARFUSS; JOHNSON, 2011), apresenta, também, larga faixa de aplicação (diâmetros de 25 mm até 6000 mm) e pode ser aplicado a diversos materiais e fluídos. Além disso, segundo Stoker, Barfuss, Johnson (2012), são fáceis de instalar, não produzem perda de carga no sistema e não limitam a uma instalação permanente.

Os instrumentos baseados em ultrassom se destacam pela forma não intrusiva (MURAKAWA; KIKURA; ARITOMI, 2008), não invasiva (MURAI et al., 2010) e de fácil instalação e manutenção (MURAI et al., 2009). Dessa forma, de acordo com Wang et al. (2010), o monitoramento e avaliação com medidores não intrusivos com base em ondas guiadas têm sido amplamente utilizados por pesquisadores e prestadores de serviços em diferentes aplicações.

O medidor hidrômetro é muito utilizado para verificação de vazão da água (SINGH; KUMAR, 2013; MORAES et al., 2014; GERVÁSIO; MELO JUNIOR, 2014; GONÇALVES et al., 2014; SILVA et al., 2014). Sua aplicação é ampla e varia desde a hidráulica predial até medidas de vazão em estações de bombeamento para irrigação. Devido a sua larga escala de utilização este instrumento é um bom comparativo às vazões obtidas por outros tipos de medidores.

As tubulações de PVC são comumente utilizadas para condução da água (MAO et al., 2011; FRIGO et al., 2013; SILVA et al., 2013; RIBEIRO et al., 2014; PERRONI et al., 2015) devido ao fácil acesso, melhor custo-benefício e baixa necessidade de manutenção.

Diante do exposto, o propósito desse trabalho foi avaliar o desempenho de um medidor ultrassônico, em relação ao hidrômetro, para aferições de vazão em diferentes tubos de PVC, utilizando a água como fluido.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento do trabalho foi realizado no Laboratório de Hidráulica Agrícola, do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS.

Para o fornecimento de água do experimento foi utilizado um sistema de bombeamento em circuito fechado, utilizando tubos novos de Policloreto de Vinila (PVC) rígido, com junta soldável, de coloração branca (utilizados para esgoto, NBR 5688), azul (utilizados para irrigação, NBR 14312) e marrom (utilizados para água fria, NBR 5648), com diâmetro nominal de 50 mm, comprimento padrão de 6 metros e espessura das paredes de 1,34 mm, 1,24 mm e 3,10 mm, respectivamente.

A motobomba utilizada foi do modelo Centrífuga BC - 20R, da marca Schneider, trifásica, com 5 CV de potência e vazão máxima de  $17 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

A obtenção da vazão foi através do medidor portátil de vazão ultrassônico por tempo de trânsito, modelo UFM170, da empresa Plandata CSI Ltda. Essa medição foi comparada com a vazão encontrada através do medidor hidrômetro, do tipo turbina, de vazão nominal  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  para uma pressão nominal de 10 metros de coluna de água (mca). Os medidores foram previamente calibrados, e os ensaios foram repetidos três vezes para cada cano de PVC em cada medidor de vazão utilizado.

Para obtenção de diferentes valores de vazão, foram realizadas aberturas graduais do registro de gaveta, instalado antes do hidrômetro. A verificação de vazão no hidrômetro foi obtida a partir do tempo decorrido pela passagem do volume de 100 litros de água pelo medidor, sendo este indicado por uma volta completa do ponteiro do instrumento.

Para a determinação de vazão com o medidor ultrassônico o aparelho foi calibrado a partir do fornecimento de dados característicos da tubulação e do fluido utilizado. Inicialmente, foram fornecidos dados como diâmetro externo e espessura da parede do cano, tipo de material da canalização e o tipo de líquido utilizado, no caso a água. Após, selecionou-se o tipo de transdutor, *Standard M1*, e escolheu-se o método de montagem dos transdutores, o qual foi o método-W, que é a montagem geralmente utilizada em tubos de PVC com diâmetros de 10 a 100 mm.

Para verificar o desempenho do medidor ultrassônico, seus valores de vazão foram comparados com os obtidos pelo medidor padrão hidrômetro. Através do Índice de Concordância ( $I_c$ ), proposto por Willmott (1981), mediu-se o grau de exatidão entre as variáveis envolvidas, em que seus valores variam de zero a um e podem ser calculados pela Equação 1:

$$I_c = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (1)$$

Em que:  $E_i$  é o valor da observação estimada,  $O_i$  é o valor da observação medida e  $O$  é a média da observação medida.

De acordo com Schneider, Schneider e Souza (2009), o grau de associação entre as duas variáveis envolvidas na análise pode ser estimado pelo Coeficiente de Correlação ( $r$ ) (Equação 2), no qual quanto maior o seu valor absoluto maior a associação entre as variáveis.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - E)(O_i - O)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (E_i - E)^2 \sum_{i=1}^n (O_i - O)^2}} \quad (2)$$

Em que:  $E_i$  são os valores estimados,  $O_i$  os valores observados,  $E$  a média dos valores estimados e  $O$  a média dos valores observados.

Para a avaliação do desempenho das vazões foi utilizado o Índice de Desempenho (Id) (Equação 3), proposto por Camargo e Sentelhas (1997), cujo valor é o produto do Índice de Concordância e o Coeficiente de Correlação.

$$Id = Ic \cdot r \quad (3)$$

De acordo com Pimenta et al. (2018), o critério para interpretação do Índice de Concordância, do Coeficiente de Correlação e do Índice de Desempenho e suas respectivas classificações estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Critério para interpretação do Índice de Concordância, do Coeficiente de Correlação e do Índice de Desempenho e suas respectivas classificações.

Índice de Concordância (d)	Coeficiente de Correlação (r)	Índice de Desempenho (Id)	Classificação
0,95 – 1,00	0,95 – 1,00	0,90 – 1,00	Excelente
0,89 – 0,95	0,89 – 0,95	0,80 – 0,90	Ótimo
0,84 – 0,89	0,84 – 0,89	0,70 – 0,80	Muito Bom
0,77 – 0,84	0,77 – 0,84	0,60 – 0,70	Bom
0,71 – 0,77	0,71 – 0,77	0,50 – 0,60	Moderadamente Bom
0,63 – 0,71	0,63 – 0,71	0,40 – 0,50	Moderado
0,55 – 0,63	0,55 – 0,63	0,30 – 0,40	Moderadamente Ruim
0,45 – 0,55	0,45 – 0,55	0,20 – 0,30	Ruim
0,32 – 0,45	0,32 – 0,45	0,10 – 0,20	Muito Ruim
0,00 – 0,32	0,00 – 0,32	0,00 – 0,10	Péssimo

Fonte: Pimenta et al. (2018).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores das medições de vazão verificadas no hidrômetro e no medidor ultrassônico, nos diferentes tubos de PVC, estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Valores de vazão obtidos com o ultrassônico e o hidrômetro para tubos de PVC branco, azul e marrom.

	Vazão (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )					
	Medidor Ultrassônico			Medidor Hidrômetro		
	Branco	Azul	Marrom	Branco	Azul	Marrom
1	0,895	1,71	1,67	0,884	2,06	0,77
2	1,761	2,28	2,17	1,641	2,76	1,32
3	2,179	3,05	3,83	2,039	3,50	3,11
4	3,719	4,27	3,99	3,692	3,45	3,24
5	4,569	4,92	5,21	4,390	3,08	4,67
6	5,449	5,13	6,26	5,331	3,37	5,84
7	6,772	6,59	7,40	6,642	4,12	7,23
8	7,711	7,85	8,23	7,635	5,13	8,22
9	8,622	9,05	9,28	8,463	5,28	9,43
10	10,145	9,93	10,27	10,220	6,12	10,36
11	13,733	11,02	10,89	13,362	7,13	11,09
12	14,278	12,61	11,47	13,807	7,01	11,86
Média	6,65	6,53	6,72	6,51	4,42	6,43

Conforme apresentado na Tabela 2, para o tubo de PVC de cor branca, a média das vazões obtidas com o medidor ultrassônico foi semelhante às obtidas através do hidrômetro, o que corresponde a uma diferença relativa de 2,15%. Essa semelhança ocorreu também para o tubo de PVC marrom, no qual obteve uma diferença relativa entre a média dos valores de vazão de 4,51%.

Já para o tubo de PVC azul, conforme Tabela 2, a média das vazões obtidas com o medidor ultrassônico em comparação às verificadas pelo hidrômetro, apresentou diferença relativa de 47,74%, o que foge dos padrões aceitáveis para esse tipo de comparação se considerarmos como limite aceitável uma diferença relativa de 5%. Dessa forma, para esse tubo, a medição com o ultrassônico não foi precisa.

Em relação ao desempenho das medições de vazão do medidor ultrassônico em relação ao medidor hidrômetro, apresenta-se a Tabela 3.

**Tabela 3.** Valores do Índice de Concordância (Ic), do Coeficiente de Correlação (r) e do Índice de Desempenho (Id) com suas respectivas classes de desempenho.

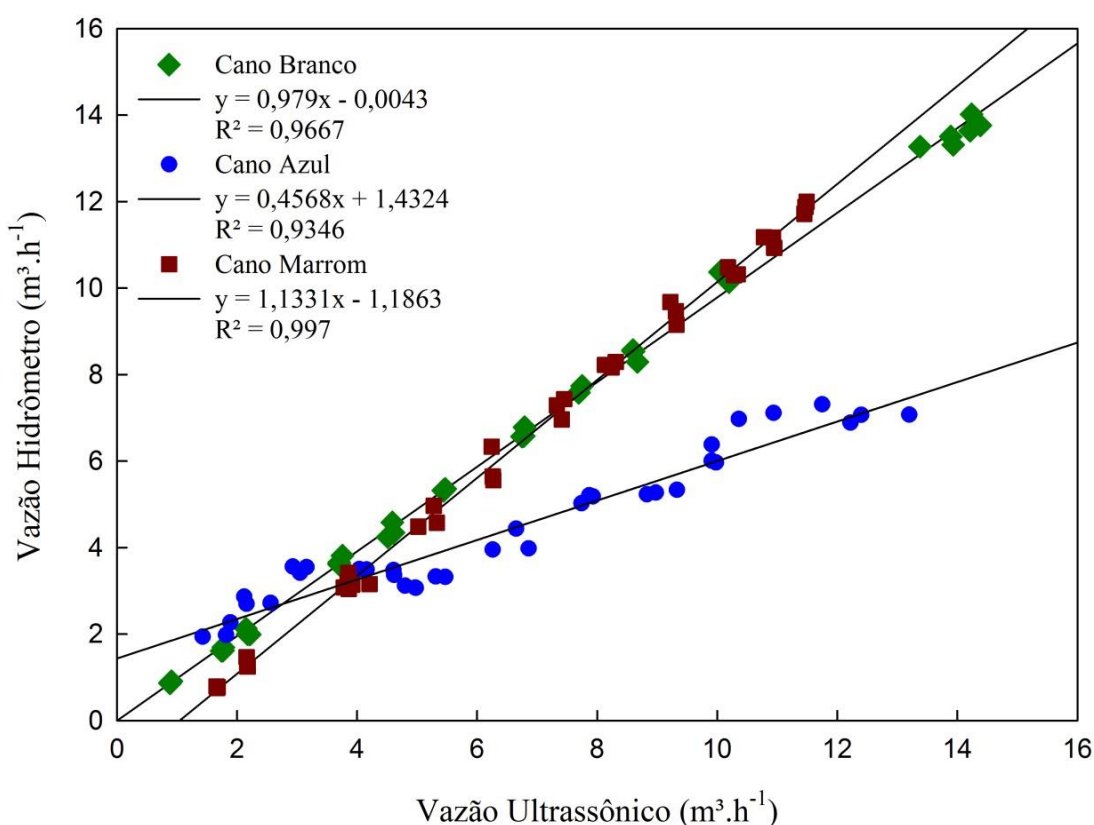
PVC	Ic	r	Id	Classe de desempenho
Branco	0,9994	0,9996	0,9991	Excelente
Marrom	0,9942	0,9998	0,9940	Excelente
Azul	0,6782	0,9711	0,6586	Bom

Analisando-se a Tabela 3, pode-se verificar que a comparação entre os valores de vazão obtidos pelos dois métodos para os tubos de PVC cor branca e cor marrom apresentaram elevada concordância, elevado grau de correlação e elevado Índice de Desempenho, o que permitiu enquadramento na classe de desempenho “Excelente”. O mesmo desempenho foi encontrado por Oliveira et al. (2013), quando seu estudo objetivou calibrar e validar o modelo de Simulação da Irrigação por Aspersão.

Ainda na Tabela 3, para o tubo de PVC azul, os valores obtidos em todos os parâmetros estatísticos analisados foram menores que os encontrados para os demais tubos, o que o enquadraram na classe de desempenho “Bom”.

Para melhor interpretação das medições realizadas, demonstrou-se, através de regressão linear, os valores de vazão obtidos com o medidor ultrassônico (x) e com o hidrômetro (y), para os tubos de PVC de cor branca, marrom e azul, obtendo o coeficiente linear, o coeficiente angular e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

**Figura 1.** Vazões obtidas em canos de PVC através de medidor ultrassônico e medidor hidrômetro.



Uma análise da Figura 1, para os tubos de PVC branco e marrom, permite observar que os valores das vazões apresentam forte aderência à reta de regressão, evidenciado pelo elevado coeficiente de determinação, demonstrando que os procedimentos metodológicos e experimentais utilizados foram adequados. Ademais, os valores do coeficiente angular e linear foram próximos de um (1,00) e zero (0,00), respectivamente. Já para o tubo de PVC azul, a distribuição dos pontos em torno da reta de regressão e em relação às demais retas, apresenta um comportamento mais discrepante, com coeficiente de determinação menor que os demais tubos ensaiados.

Isso se deve ao fato de que, para o tubo de PVC azul, as medições com o ultrassônico em relação ao hidrômetro não foram precisas, podendo, este fato, estar relacionado com o tipo de material que o tubo foi produzido ou calibração inadequada no próprio aparelho de medição. Segundo o Manual de Operação fornecido pelo fabricante do medidor UFM170 (PLANDATA

CSI LTDA, 2012), os possíveis erros nas medições de vazão são geralmente por má instalação dos transdutores, incrustações no cano ou revestimento do cano muito espesso.

Neste caso, as avaliações de vazão com o cano PVC azul foram repetidas diversas vezes, efetuando todos os procedimentos, instalações e cuidados corretamente, e os resultados obtidos em todas as aferições foram semelhantes.

Tendo como base os resultados obtidos neste experimento, pode-se deduzir que os instrumentos devem ser aferidos antes de sua utilização, para aumentar o grau de confiança nos valores obtidos em um processo de medição. Deve-se, também, avaliar o seu comportamento em relação a diferentes materiais e, inclusive, para um mesmo tipo de material.

## 6 CONCLUSÕES

O desempenho do medidor ultrassônico de vazão em relação ao padrão hidrômetro nos tubos de PVC de cor branca e marrom, obteve desempenho classificado como “Excelente”, podendo, assim, ser utilizado com exatidão. Já para tubo de PVC de cor azul, o desempenho entre os medidores foi classificado como “Bom”, demonstrando que a simples adoção de valores fornecidos pelo manual do fabricante pode levar a resultados equivocados na avaliação de um processo de medição, para o qual se espera elevada exatidão.

## 7 REFERÊNCIAS

CAMARGO, A. P. **Desenvolvimento de um medidor eletrônico de vazão utilizando célula de carga**. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

FRIGO, J. P.; VILAS, M. A.; FRIGO, E. P.; HERMES, E.; TESSARO, E. Irrigação diurna e noturna em um sistema de aspersão convencional em Palotina-Pr. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 2, p. 318-327, 2013.

GERVÁSIO, E. S.; MELO JÚNIOR, J. C. F. Utilização da técnica de lisimetria de pesagem na automação de um sistema de irrigação localizada para uso no manejo da irrigação de cultivos em recipientes. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 4, p. 626-640, 2014.

GONÇALVES, F. V.; MEDICI, L. O.; ALMEIDA, W. S.; CARVALHO, D. F.; SANTOS, H. T.; GOMES, D. P. Irrigação no cultivo orgânico de alface utilizando Irrigás, tanque Classe A e um sistema automático de baixo custo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 11, p. 1950-1955, 2014.

HEINER, B.; BARFUSS, S. L.; JOHNSON, M. C. Conditional assessment of flow measurement accuracy. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 137, n. 6, p. 367-374, 2011.

MAO, F.; GAUNT, J. A.; CHENG, C. L.; ONG, S. K. Microscopic visualization technique to predict the permeation of organic solvents through PVC pipes in water distribution systems. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 137, n. 2, p. 137-145, 2011.

MORAES, M. J.; OLIVEIRA FILHO, D.; MANTOVANI, E. C.; MONTEIRO, P. M. B.; MENDES, A. L. C.; DAMIÃO, J. H. A. C. Automação em sistema de irrigação tipo pivô central para economia de energia elétrica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 6, p. 1075-1088, 2014.

MURAKAWA, H.; KIKURA, H.; ARITOMI, M. Application of ultrasonic multi-wave method for two-phase bubbly and slug flows. **Flow Measurement and Instrumentation**, Oxion, v. 19, n. 3/4, p. 205-213, 2008.

MURAI, Y.; OHTA, S.; SHIGETOMI, A.; TASAKA, Y.; TAKEDA, Y. Development of an ultrasonic void fraction profiler. **Measurement Science and Technology**, Philadelphia, v. 20, n. 11, 13 p, 2009.

MURAI, Y.; TASAKA, Y.; NAMBU, Y.; TAKEDA, Y.; GONZALEZ, S. R. Ultrasonic detection of moving interface in gas-liquid two-phase flow. **Flow Measurement and Instrumentation**, Oxion, v. 21, n. 3, p. 356-366, 2010.

OLIVEIRA, H. F. E.; COLOMBO, A.; FARIA, L. C.; BESKOW, S.; PRADO, G. Modelo para simulação da irrigação por aspersão - Calibração e validação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 3, p. 253-260, 2013.

PÉREZ-URRESTARAZU, L. P.; BURT, C. M. Characterization of pumps for irrigation in central California: Potential energy savings. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 138, n. 9, p. 815-822, 2012.

PERRONI, B. L. T.; FARIA, L. C.; CARVALHO, J. A.; OLIVEIRA, H. F. E. Influência do custo da energia elétrica e do material da tubulação na velocidade econômica de bombeamentos. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 1, p. 13-20, 2015.

PLANDATA CSI LTDA. **Manual técnico do medidor ultrassônico UFM170**. São Paulo: Plandata, 2012. 62 p.

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

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**, Botucatu, v. 19, n. 3, p. 430-440, 2014.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2. ed. Santa Maria: UFSM, 2009. 294 p.



SILVA, K. B.; SILVA JUNIOR, M. J.; BATISTA, R. O.; SANTOS, D. B.; BARBOSA FILHO, S. Desempenho de gotejadores operando com efluente da castanha de caju sob distintas pressões de serviço. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 3, p. 339-346, 2013.

SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; CUNHA, F. N.; SOARES, F. A. L.; OLIVEIRA, R. C. Desenvolvimento do Pinhão-Manso (*Jatropha curcas* L.) em função da irrigação por gotejamento subsuperficial. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 4, p. 85-94, 2014.

SINGH, J., KUMAR, R. The experimental analysis of inlet parameters on the performance of liquid desiccant dehumidifier. **International Journal on Emerging Technologies**, Viena, v. 4, n. 2, p. 83-88, 2013.

STOKER, D. M.; BARFUSS, S. L.; JOHNSON, M. C. Ultrasonic flow measurement for pipe installations with nonideal conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 138, n. 11, p. 993-998, 2012.

WANG, X.; PETER W. T.; MECHEFSKE, C. K.; MENG, H. Experimental Investigation of Reflection in Guided Wave-Based Inspection for the Characterization of Pipeline Defects. **NDT & E International**, Ames, v. 43, n. 4, p. 365-74, 2010.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models, **Physical Geography**, London, v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981.