

AFERIÇÃO DA PRECISÃO DE HIDRÔMETRO DE BAIXO CUSTO PARA USO EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Luan Alves Machado¹, Eusímio Felisbino Fraga Junior².

RESUMO: O trabalho teve como objetivo calibrar hidrômetros de baixo custo (RainPoint ICS006-DLS) para aplicação em sistemas de irrigação, visando assegurar a precisão das medições de vazão de água. O experimento foi realizado no Laboratório de Engenharia de Água e Solo (ENGAS) da UFU, utilizando três sensores de vazão, um manômetro (Wika) e um sistema de tubulação (Netafim). Foram testadas cinco pressões (0 a 1,2 Bar), com três repetições cada, medindo-se o volume de água coletado (kg) e a vazão registrada (L/min) durante dois minutos. A análise estatística incluiu o erro padrão da estimativa (EPE), coeficiente de determinação ($R^2 = 0,993$), índice de concordância de Willmott ($d = 0,994$), coeficiente de correlação ($r = 0,996$) e coeficiente de desempenho ($c = 0,990$), classificado como "ótimo". O RMSE (2,248) e o EPE (0,207) indicaram alta precisão das medições. Os resultados demonstraram que os hidrômetros avaliados são confiáveis para monitoramento em irrigação, garantindo gestão e planejamento hídrico eficiente. A calibração periódica foi destacada como essencial para manter a precisão dos dados e subsidiar decisões técnicas. O estudo reforça a viabilidade de sensores acessíveis para agricultores, alinhando custo e desempenho em sistemas sustentáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Calibração, Sensores de baixo custo, gestão hídrica.

ACCURACY ASSESSMENT OF A LOW-COST WATER METER FOR USE IN IRRIGATION SYSTEMS

ABSTRACT: The study aimed to calibrate low-cost water meters (RainPoint® ICS006-DLS) for application in irrigation systems, ensuring accurate water flow measurements. The experiment was conducted at the Soil and Water Engineering Laboratory (ENGAS) of UFU,

¹ Discente, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Campus Monte Carmelo, CEP 38500-000, Monte Carmelo – MG. E-mail: luan.machado@ufu.br

² Prof. Doutor, Departamento de Ciências Agrárias, UFU, Monte Carmelo – MG.

using three flow sensors, a pressure gauge (Wika), and a piping system (Netafim). Five pressure levels (0 to 1.2 Bar) were tested, with three replicates each, measuring the collected water volume (kg) and recorded flow rate (L/min) over two minutes. Statistical analysis included the standard error of estimate (SEE), coefficient of determination ($R^2 = 0.993$), Willmott's agreement index ($d = 0.994$), correlation coefficient ($r = 0.996$), and performance coefficient ($c = 0.990$), classified as "excellent." The RMSE (2.248) and SEE (0.207) indicated high measurement precision. Results demonstrated that the evaluated water meters are reliable for irrigation monitoring, ensuring efficient water management and planning. Periodic calibration was emphasized as essential to maintain data accuracy and support technical decision-making. The study reinforces the feasibility of affordable sensors for farmers, balancing cost and performance in sustainable systems.

KEYWORDS: Calibration, Low cost sensors , Water management.

INTRODUÇÃO

O hidrômetro é um instrumento utilizado para medir o volume de água em um determinado ponto de um sistema hidráulico. Ele funciona a partir da vazão de água que passa por seu mecanismo interno que está conectada ao seu mostrador, seja ele digital ou analógico. Uma grande questão a ser observada nas propriedades é o controle e gestão da água que está sendo utilizada pelo sistema e se esse volume condiz com o esperado. O trabalho teve como objetivo a calibração de hidrômetro de baixo custo, visando sua aplicação por produtores rurais em sistemas de irrigação, com o propósito de verificar se o volume de água calculado

para o projeto está em conformidade com a vazão efetivamente distribuída no mesmo. Nesse contexto, a calibração periódica dos hidrômetros é essencial para garantir a confiabilidade das medições e auxiliar na tomada de decisões relacionadas à gestão da água (Silva et al., 2021).

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Engenharia de Água e Solo (ENGAS) da Universidade Federal de Uberlândia, campus Monte Carmelo, foi executado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), utilizando 3 sensores de vazão (hidrômetros da marca

RainPoint, modelo ICS006-DLS), 1 manômetro Wika (NBR 14105-1) para a medição da pressão do sistema, o mesmo foi construído utilizando o tubo cego da Netafim (PE 16010) com uma distância de 1,40m entre o manômetro e o primeiro sensor, 1,55m entre os sensores subsequentes. Foram realizadas medições em 5 pressões diferentes, sendo elas (0 Bar), (0,1 Bar), (0,8 Bar), (1,08 Bar), (1,2 Bar) com 3 repetições em cada pressão, para cada repetição a água foi passada pelo sistema por 2 minutos e armazenada em um balde com peso conhecido (1,289 kg), posteriormente pesada em uma balança, os resultados foram observados em kg (Balança) e l/min (Sensor de vazão). A avaliação dos resultados foi realizada com base em indicadores estatísticos consagrados na literatura, a saber: erro padrão de estimativa (EPE), coeficiente linear (a), coeficiente angular (b), coeficiente de determinação (r^2), coeficiente de correlação (r), índice de concordância de Willmott (d) (equação 2), proposto por Willmott et al. (1985), e coeficiente de desempenho (c), proposto por Camargo e Sentelhas (1997). O erro padrão da estimativa (EPE) descrito por Allen et al., (1986) foi calculado pela equação abaixo.

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum(O_i - P_i)^2}{n-1}} \quad (1)$$

Equação 1: Fórmula da EPE

Em que O_i são os valores observados, P_i os valores estimados, e n o número de observações. O índice de concordância (d), proposto por Willmott et al., (1985), foi determinado pela equação:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum(P_i - O_i)^2}{\sum(|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (2)$$

Equação 2: Fórmula do Índice de Concordância

Em que (P_i) são os valores estimados; (O_i) os valores observados; (\bar{O}) à média dos valores observados. O coeficiente de desempenho (c), conforme Camargo e Sentelhas (1997), foi obtido pelo produto entre o coeficiente de correlação (r) e o índice de Willmott (d), sendo interpretado de acordo com a seguinte classificação: Ótimo (quando $c > 0,85$), muito bom (quando c entre 0,76 e 0,85), bom (quando c entre 0,66 e 0,75), mediano (quando c entre 0,61 e 0,65), sofrível (quando c entre 0,51 e 0,60), mau (quando c entre 0,41 e 0,50) e péssimo (quando $c < 0,40$). Também foi utilizado o RMSE (Erro Quadrático Médio) (Equação 3) para demonstrar o quão dispersos estão os valores previstos em relação aos valores reais, quanto menor o valor do RMSE mais próximo o modelo está da realidade.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (3)$$

Equação 3: Fórmula do Erro Quadrático Médio

Onde os valores previstos pelo modelo, também chamados de valores esperados, são representados por $\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_n$. Esses valores correspondem às estimativas fornecidas pelo modelo de previsão. Por outro lado, os valores observados reais, também conhecidos como valores conhecidos, são representados por y_1, y_2, \dots, y_n , e referem-se aos dados reais coletados ou medidos. A letra n indica o número total de observações, ou seja, a quantidade de pares de dados (valor previsto e valor real) considerados na avaliação do modelo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observado no trabalho que dentre os 3 sensores testados o sensor 1 se mostrou mais confiável com um coeficiente de desempenho (c) de 0,99409 em relação aos demais sensores, o sensor 3 foi considerado mais preciso que os restantes apresentando um R^2 de 0,99940. A seguir as figuras que demonstram a vazão observada (l/min) em relação a vazão real (l/min).

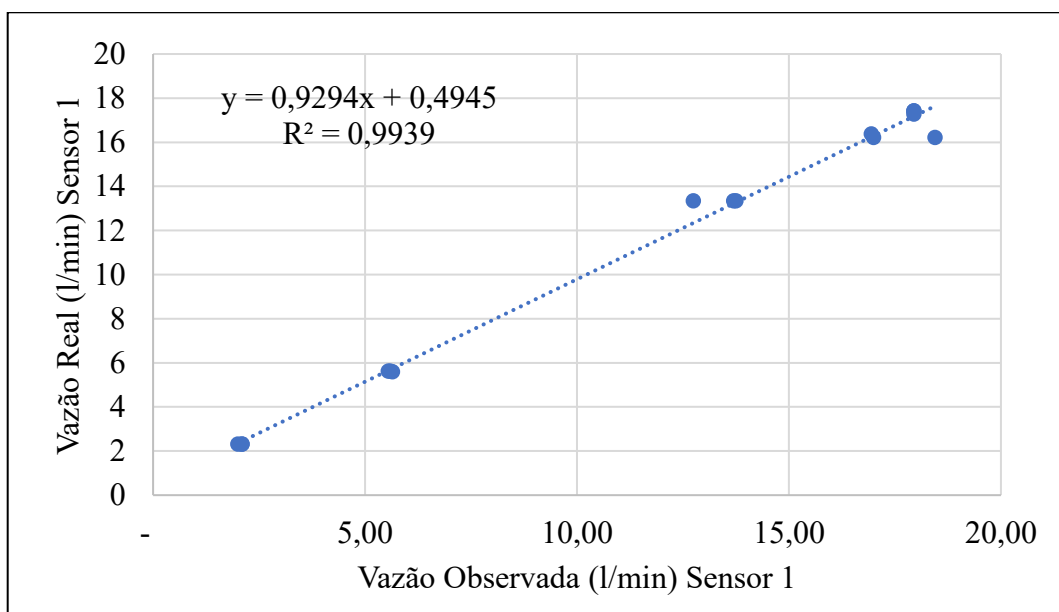


Figura1. Dispersão da vazão obtida pelo sensor 1 e pelo método padrão.

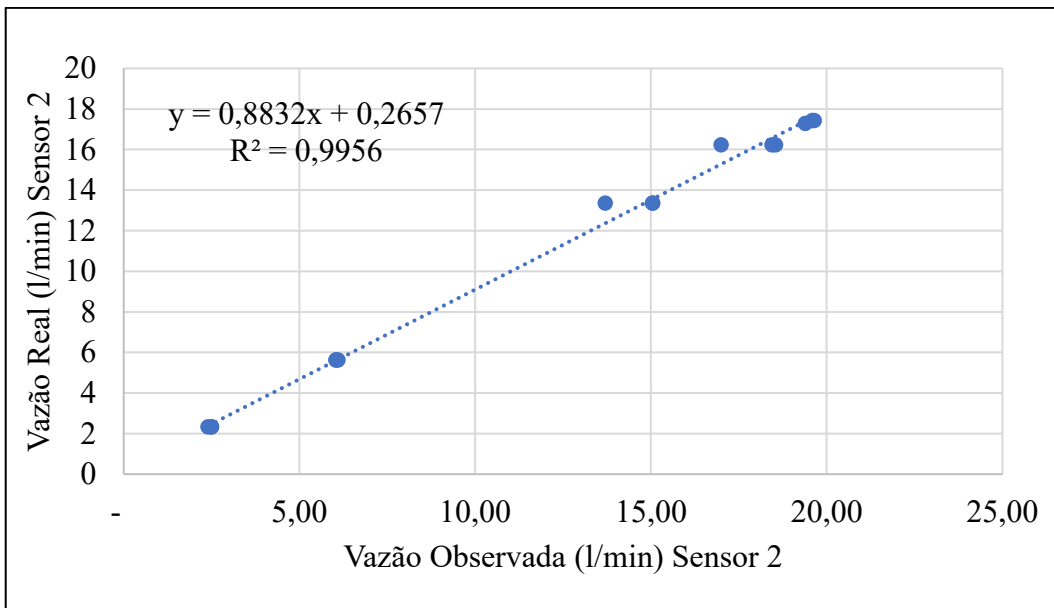


Figura 2. Dispersão da vazão obtida pelo sensor 2 e pelo método padrão.

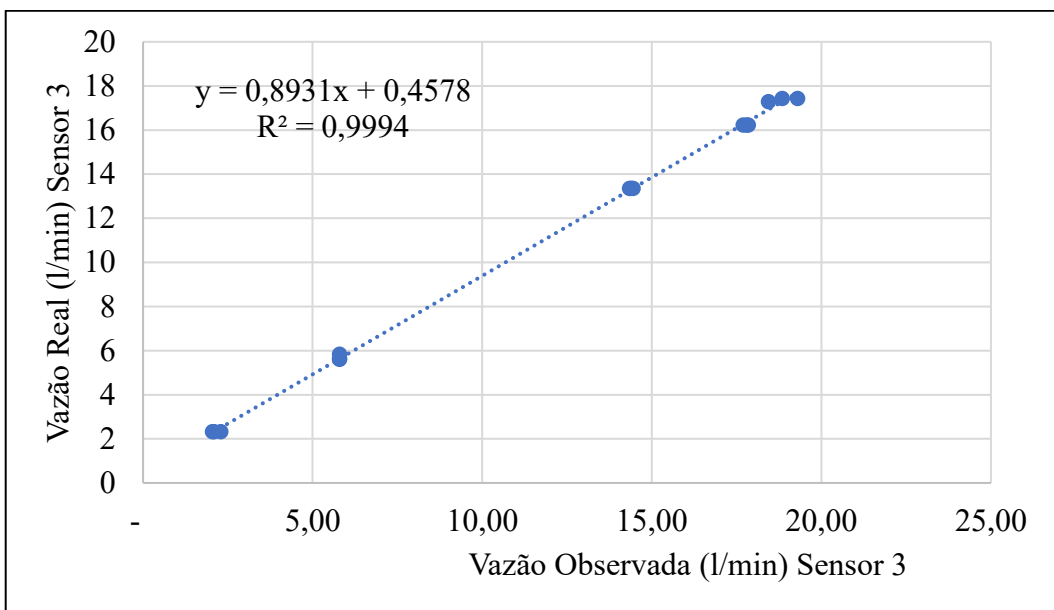


Figura 3. Dispersão da vazão obtida pelo sensor 3 e pelo método padrão

CONCLUSÕES

Concluiu-se a partir dos resultados obtidos e apresentados no trabalho que, os sensores de vazão (Hidrômetros) submetidos aos testes, são confiáveis para desempenhar adequadamente sua função no planejamento e gestão de água do sistema de irrigação, baseado nos testes estatísticos aplicados.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento a FAPEMIG

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SILVA, A. R.; OLIVEIRA, M. J.; SOUZA, L. F. Calibração de hidrômetro para água fria de vazão nominal de 1,5 m³/h. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 4, p. 697–704, 2021.

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

WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 63, n. 11, p. 1309–1313, 1982.