

## CARCTERIZAÇÃO DE SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO

Arlindo G S B Neto<sup>1</sup>  
Virginia Mirtes A Silva<sup>2</sup>  
Nayara Nielli Chagas<sup>3</sup>  
Miryelli Ribeiro Barbado<sup>4</sup>

### Tecnologia Ambiental

#### *Resumo*

O desenvolvimento de novos métodos para medição de vazão buscando uma eficiência hídrica tem sido promissor. A medição de vazão de líquidos ou gases representa uma das variáveis mais utilizadas nos processos industriais, sendo considerada a terceira maior medição dentre seus processos. Em relação ao consumo de água, a utilização de sensores adequados garante a eficiência das medições com um custo significativamente baixo, além de aprimorar o funcionamento de vários projetos dentro da gestão de água, possibilitando uma eficiência no consumo. Além disso, o desenvolvimento dessas tecnologias de eficiência hídrica utilizando novos métodos de medição de vazão estão sendo estudados e implantados em todo o mundo. Neste sentido, esse trabalho buscou a caracterização de sensores para o desenvolvimento de uma estrutura capaz de medir vazão de forma automatizada e com baixo custo operacional e de desenvolvimento. Assim, foi desenvolvido e caracterizado um sistema automatizado para medição de vazão, utilizando sensor ultrassônico gerenciados por uma plataforma Arduino. Foram desenvolvidos testes experimentais que possibilitam o ajuste dos sensores e o desenvolvimento do código em linguagem para o Arduino, possibilitando um erro menor na medição. De acordo com os testes experimentais para calibração, os ajustes na leitura do sensor ultrassônico mostraram um erro de até 1% nas medições de distância, entretanto, nas medições de vazão o erro médio foi de 5,1%, sendo então, um erro menor que os hidrômetros analógico, na qual variam de 5% a 10%.

**Palavras-chave:** Sensor, Água, Desperdício.

---

<sup>1</sup>Prof. Dr. Arlindo G S B Neto –IFPB Campus Esperança, [arlindo@ifpb.edu.br](mailto:arlindo@ifpb.edu.br).

<sup>2</sup>Prof. Dra. Virginia Mirtes A Silva, [virginia.mirtes2015@gmail.com](mailto:virginia.mirtes2015@gmail.com)

<sup>3,4</sup>Alunas do curso Técnico em Sistemas de Energia Renovável, IFPB, Campus Esperança.  
[mirielly.ribeiro@academico.ifpb.edu.br](mailto:mirielly.ribeiro@academico.ifpb.edu.br).



## INTRODUÇÃO

Atualmente, com o avanço da produção industrial, do agronegócio e o crescimento populacional, é perceptível que a água potável do planeta está ficando cada vez mais escassa, fazendo com que haja diversas propostas, planejamentos e projetos voltados para conseguir diminuir o ritmo no qual isso acontece. Além do desenvolvimento de projetos relacionados ao desperdício de água, é importante também que haja a sensibilização por parte da população, para que possam preservar o recurso natural necessário para garantir a sobrevivência da humanidade.

Muitas pesquisas já foram realizadas em relação ao desperdício de água, dentre elas, destaca-se ao estudo realizado em blocos residenciais pelo Instituto Trata Brasil com dados referentes ao ano de 2019 (BRASIL, 2019). O referente estudo contempla uma análise do Brasil, das 27 Unidades da Federação e as cinco regiões, bem como as 100 maiores cidades, os mesmos municípios do Ranking do Saneamento Básico. Como resultado da pesquisa, as perdas na distribuição correspondem a 39,2%, ou sete vezes o volume do Sistema Cantareira, sendo essa quantidade suficiente para abastecer mais de 63 milhões de brasileiros em um ano, segundo o estudo. Por outro lado, as incertezas nas medições utilizando hidrômetros classe B (normalmente utilizado pelas companhias de distribuição de água), cuja faixa de erro dependendo do fabricante variar de  $\pm 5\%$  a  $\pm 10\%$  (COSTA NETO, *et al.*; 2021) podem contribuir para um aumento do desperdício, como, também, uma tarifação errada ao consumidor (DOMINQUINI *et al.*; 2020). As incertezas nos hidrômetros podem aumentar de forma natural com o desgaste, como, também, em função do tipo de escoamento e do fluido. Segundo COSTA NETO, *et al.*; 2021, hidrômetros podem apresentar uma faixa de incerteza na medição superior a 20%, principalmente quando houver ar na tubulação e alteração no regime de fluxo. Contudo, o uso de instrumentos de medição com uso de sensores e microprocessadores eletrônico são os melhores, pois apresentam erros inferiores a 3%, entretanto, seu custo é elevado.

Nesse sentido, é notório a necessidade e importância do uso da tecnologia para minimizar os problemas relacionados ao sistema de medição, instrumentação, contribuindo para minimizar o desperdício de água, como, também, o custo ao consumidor. Na literatura

Realização

Apoio

há alguns trabalhos que usam o sensor ultrassônico HC-SR04 juntamente com a plataforma Arduino apenas para medição de nível em reservatórios (DE SOUZA *et al.*; 2017, MATEUS GOMES *et al.*; 2018, MOREIRA, 2020, entre outros), por ser uma alternativa de baixo custo. Contudo, o sensor ultrassônico HC-SR04 é comumente utilizado para medição de distância, principalmente em desvio de obstáculos na robótica (NAKATANI *et al.*, 2014).

Assim, o objetivo desse trabalho é caracterizar um sistema para medir vazão utilizando o sensor ultrassônico HC-SR04 e a plataforma de prototipagem Arduino, para que possa ser utilizado em projetos para mensurar e controlar o consumo de água em ambientes residenciais, possibilitando analisar o desperdício e gestão de recursos hídricos com um dispositivo de baixo custo.

## METODOLOGIA

O trabalho prático foi desenvolvido no Laboratório de Eletrônica do curso de Sistema de Energia Renovável do IFPB Campus Esperança, na qual foi possível montar a bancada de estudos e executar a coleta de dados com o protótipo experimental. Na Figura 1 é ilustrado o arcabouço experimental, contendo um reservatório de base piramidal, um sensor ultrassônico de baixo custo HC-SR04 e um Arduino UNO. O sensor ultrassônico HC-SR04 mede a distância entre sua posição no topo do reservatório até a lâmina de água, sendo capaz de detectar distâncias em uma escala de 2cm a 4m com alta precisão. Os dados coletados são enviados para o Arduino, sendo processados utilizando um algoritmo para calcular a vazão instantânea em função da variação de volume, ou seja, a vazão é calculada de forma indireta através da variação de volume do recipiente no período tempo de abertura da válvula. O volume retirado do reservatório foi usado para fazer a comparação das leituras do sensor, cuja aferição do tempo foi feita com um cronometro de acionamento manual. Dessa forma, foi possível ajustar a calibração do sensor para manter o menor desvio padrão nas leituras.

Realização

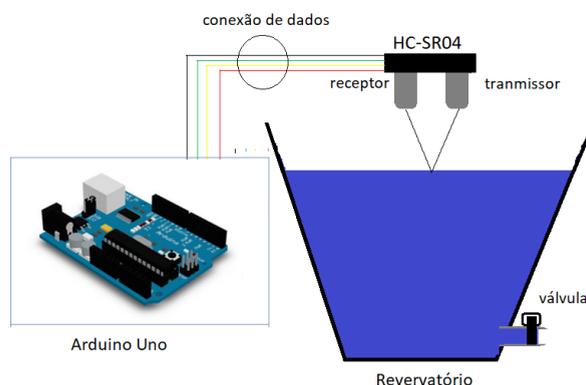


Figura 01: Arcabouço Experimental.

Em relação ao reservatório, foi necessário explicitar uma equação para o cálculo do volume em função da altura da lâmina de fluido na estrutura, tendo em vista que a caixa d'água tem o aspecto geométrico de um tronco de cone, conforme ilustrado na Figura 2. O cálculo do volume do tronco do cone é conhecido na literatura, sendo dado pela equação:

$$V = \frac{\pi \cdot H}{3} \cdot \left( \frac{D2^2}{4} + \frac{D1 \cdot D2}{4} + \frac{D1^2}{4} \right), \quad (1)$$

em que, D2 é o diâmetro da base, D1 é o diâmetro da tampa e H é altura do reservatório. Portanto, para determinação do volume é necessário conhecer apenas três variáveis, D1, D2 e H.

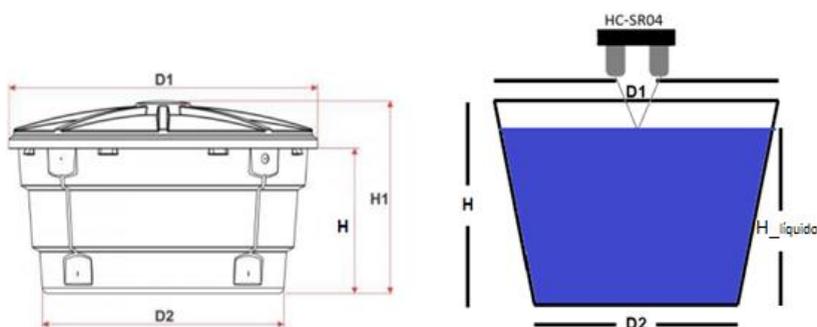


Figura 02: Estrutura geométrica e reservatório de água.

Entretanto, para um reservatório com o volume variável, faz-se necessário atualizar a altura da base até a lâmina de fluido ( $H_{\text{fluido}}$ ), como, também, o novo diâmetro referente à altura do líquido, conforme ilustrado na Figura 2. Portanto, para calcular a  $H_{\text{fluido}}$ , faz-se a diferença entre a altura do reservatório (H) e o valor medido pelo sensor ( $H_s$ ),  $H_{\text{fluido}} = H - H_s$ .

H<sub>s</sub>.

Para o cálculo do diâmetro genérico da lâmina de fluido, foi utilizado semelhança de triângulo na representação geométrica da caixa d'água, conforme ilustrado na Figura 3. Dessa forma, utilizando o triângulo com ângulo genérico  $\phi$  é possível chegar a seguinte equação:

$$\frac{(D1-D2)/2}{H} = \frac{(D1n-D2)/2}{H_{fluido}} = tg\phi, \quad (2)$$

Fazendo algumas manipulações algébrica na equação (2) é possível expressar o diâmetro da lâmina de fluido em função da nova altura em relação ao reservatório, conforme mostrado na equação (3). Portanto, conhecendo as informações dimensionais do reservatório (D1, D2, H), usando a equação (3) é possível calcular qualquer diâmetro dentro do reservatório, desde que se conheça a altura da lâmina de fluido.

$$D1n = H_{fluido} \frac{(D1-D2)}{H} + D2 \quad (3)$$

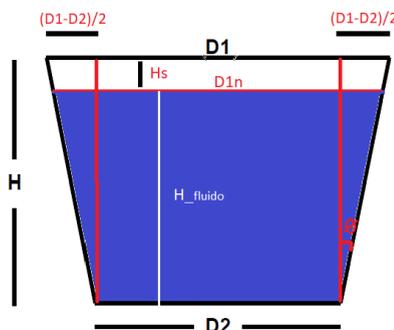


Figura 03: Ilustração das variáveis para determinação do diâmetro genérico da do reservatório

Dessa forma, primeiramente, o sensor ultrassônico mede a distância até a lâmina de fluido (H<sub>s</sub>), envia esse dado para o Arduino, sendo processado e calculado o valor referente altura da lâmina de fluido, H<sub>fluido</sub>, e o respectivo volume do reservatório, utilizando as equações (3) e (1). A vazão é calculada através da variação de volume ( $\Delta V$ ) considerando o período (t), em relação à variação da altura da lâmina de fluido :

$$Q = \frac{\Delta V}{t} \quad (4)$$

Realização

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a montagem da bancada experimental, foi realizado inicialmente um teste para averiguar o funcionamento do sensor ultrassônico HC-SR04.

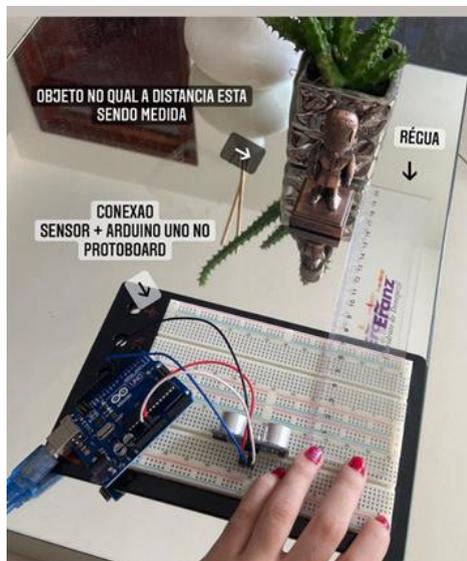


Figura 04: Processo de aferição do sensor ultrassônico.

Assim para implementar o teste foi necessário fazer as conexões físicas do sensor à placa Arduino, o posicionamento de uma régua como referência para distância e um obstáculo, conforme ilustrado na Figura 04, como, também, o desenvolvimento do código.

Na Tabela 1 é apresentado os resultados do teste com o sensor ultrassônico, considerando uma distância de 5 cm até 1 m, em relação ao obstáculo. Analisando o erro percentual apresentado na Tabela 1, fica evidente que para as menores distancia, o erro é menor. Por outro lado, à medida que a distância aumenta há um incremento do erro percentual. Entretanto, o erro máximo apresentado foi de aproximadamente 3,5 %, considerando essa faixa de teste. O erro percentual,  $E$  (%), é calculada da seguinte forma:

$$E(\%) = \frac{(V_{referencia} - V_{medido})}{V_{referencia}} \cdot 100\% \quad (5)$$



Referência (cm)	M1 (cm)	M2 (cm)	M3 (cm)	M4 (cm)	M5 (cm)	M6 (cm)	M7 (cm)	M8 (cm)	M9 (cm)	Média (cm)	Erro (%)
5	5,05	5,00	5,02	5,08	5,03	5,06	5,01	5,03	5,02	5,03	0,667
10	10,08	10,1	10,06	10,05	10,09	10,11	10,07	10,12	10,13	10,09	0,900
15	15,2	15,15	15,21	15,32	15,09	15,27	15,32	15,25	15,18	15,22	1,474
20	20,5	20,38	20,41	20,64	20,56	20,55	20,65	20,59	20,63	20,55	2,728
30	30,21	30,23	30,25	30,19	30,18	30,23	30,22	30,22	30,23	30,22	0,737
40	41,2	41,3	41,08	40,98	40,89	41,16	40,98	41,05	41,1	41,08	2,706
50	51,2	51,3	51,4	51,26	51,22	51,34	51,33	51,35	51,47	51,32	2,638
60	57,8	57,9	57,9	58,01	58,01	57,99	57,67	57,88	58	57,91	3,489
70	68,9	68,87	67,87	68,66	68,71	69,01	68,72	68,99	68,78	68,72	1,824
80	81,2	81	81,21	81,26	81,13	80,97	80,69	81,35	81,23	81,12	1,394
90	92,01	92,03	92,11	92,35	92,45	92,19	92,43	92,61	92,19	92,26	2,515
100	98,08	98,15	98,19	98,25	98,32	98,33	98,32	98,32	98,27	98,25	1,752

Tabela 01: Medidas executadas com o sensor ultrassônico.

Contudo, para uma melhor acurácia, foi desenvolvido uma função de compensação para a leitura, conforme ilustrado na Figura 05. A função polinomial é resultado do método de regressão por Mínimos Quadrados, considerando o valor de referência e o valor obtido com as medias das leituras. O formato do gráfico é aproximadamente linear, demonstrando que não há grandes divergências entre o valor de referência e o respectivo valor medido, apresentando o erro percentual baixo.

Dessa forma, quando o sensor fizer uma leitura o valor será processado no Arduino e aplicado o fator de correção, conforme a função polinomial obtida na Figura 5, considerando uma faixa de operação de 5 cm até 1 m de distância. O sensor ultrassônico é o principal componente ativo do processo de medição de vazão, portanto, deve receber atenção especial nos procedimentos experimentais. Um fato importante demonstrado na Tabela 1, diz respeito a pequena oscilação apresentado nas medidas, analisando os dados em cada linha da tabela. Assim, mesmo apresentando um valor diferente em relação ao de referência, a pouca instabilidade nas leituras sugere que uma função de correção pode ser aplicada sem grandes dificuldades.

Realização

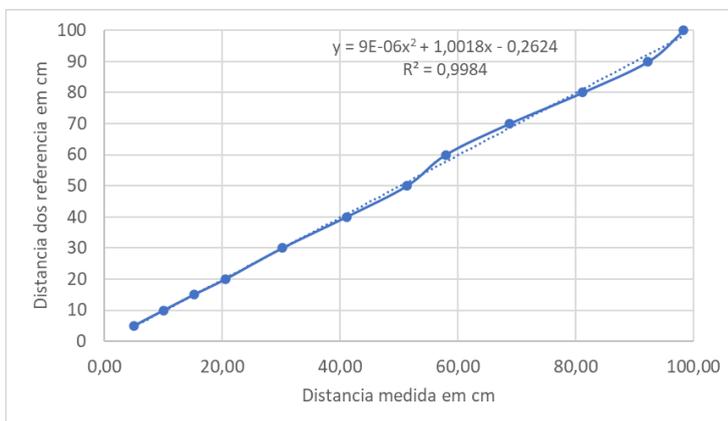


Figura 05: Gráfico do valor de referência versus o valor medido.

Na Figura 06 -(a) é ilustrado o experimento de calibração realizado para aferição do volume em um copo com capacidade de 500 ml. O sensor é fixado na parte superior do copo, fazendo a leitura da distância em relação à lâmina de fluido ( $H_{\text{fluido}}$ ). Com os dados da leitura, no Arduino, utilizando as equações (3) e (1) é calculado o volume de líquido no recipiente.



(a)

```

[ DADOS DA MEDIÇÃO ]
Volume l: 200.75 cm³

[ Auto-rolagem Show timestamp ]

Serial.print(" cm³");
Serial.println("");
//Serial.print("Distancia1: ");
//Serial.print(Distancia1);
//Serial.println("");
//Serial.print("Distancia2: ");
//Serial.print(Distancia2);
//Serial.println("");
//Serial.print(" cm³");
//Serial.println("");
// Serial.print("Volume total retirado: ");
//Serial.print(VolumeEmLitros);
  
```

(b)



(c)

Figura 06: (a)-medição de volume pra um copo de 200ml; (b)-Resultado obtido do experimento; (c)- Volume de referência em recipiente calibrado.

Assim, na Figura 06 -(b) é ilustrado o resultado apresentado pelo experimento, utilizando as equações de cálculo de volume e correção da leitura da distância até a lâmina de fluido, apresentando um valor de 200,75 ml. O volume aferido com um recipiente graduado, mostrou um volume de 200 ml, conforme Figura 06-(c). Usando o fato de que

as medidas externas do copo são conhecidas,  $D1=8,2$  cm e  $D2=5,8$  cm, sendo a medida da altura do fluido ( $H_{\text{fluido}}$ ) de 6,1 cm, usando as Equações (3) e (1), o volume calculado foi de 199,03 ml. Logo, o erro percentual é inferior a 1%, portanto, o sensor está bem calibrado, demonstrando a eficácia das equações utilizadas e na metodologia de correção de erros adotada.

Desta forma, tendo já analisado o funcionamento do sensor ultrassônico, iniciou-se a montagem para a medição de vazão. Nesse caso, optou-se por um recipiente de 50 litros (Figura 06-(a)), na qual foi montado o sensor ultrassônico na estrutura superior do recipiente (Figura 06-(b)). Na parte inferior foi inserido um flange de PVC para interligar, sem vazamentos, o interior com o exterior, possibilitando a conexão de uma válvula de esfera de abertura manual, para permitir ou não a passagem do fluido, conforme ilustrado na Figura 06 -(a).

Na Figura 06, o escoamento do fluido será por gravidade, tendo em vista não existir uma bomba para manter o fluxo constante. O volume que saí do recipiente foi armazenado em um balde de 10 litros, e, posteriormente, repostado ao recipiente maior para continuidade nos experimentos.

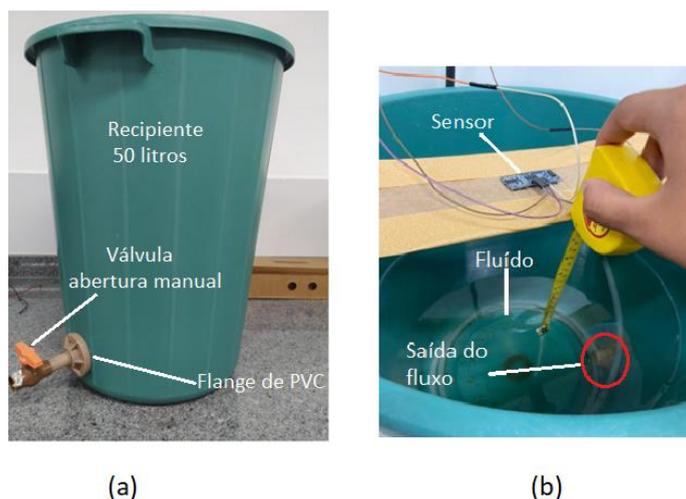


Figura 06: (a)-Recipiente de 50 litros; (b)-Vista superior da montagem do sensor ultrassônico.

Realização



Os dados experimentais são mostrados pelo sistema a cada 1 segundo, conforme ilustrado na Figura 07. Como a vazão é impulsionada apenas pela ação da gravidade, o fluxo de saída tende a diminuir à medida que o volume de água no recipiente também diminui. Um fato importante para essa montagem diz respeito a queda acentuada da vazão após 75 s, significando que a lâmina de fluido está chegando próximo da região do flange.

A maior vazão medida foi de 11,48 ml/min, diminuindo até chegar ao ponto em que não ela cessa, ou seja, 0 ml/min, sendo, também, armazenado o volume que saiu do reservatório, conforme ilustrado na Figura 08. Então, o volume retirado do recipiente foi de 10,51 litros, calculados pelo sistema Arduino e sensor ultrassônico, sendo que o volume retirado foi armazenado em um balde com capacidade de 10 litros, portanto, o sistema fez a leitura com erro de um pouco mais de meio litro, representando, um erro percentual de 5,1 %.

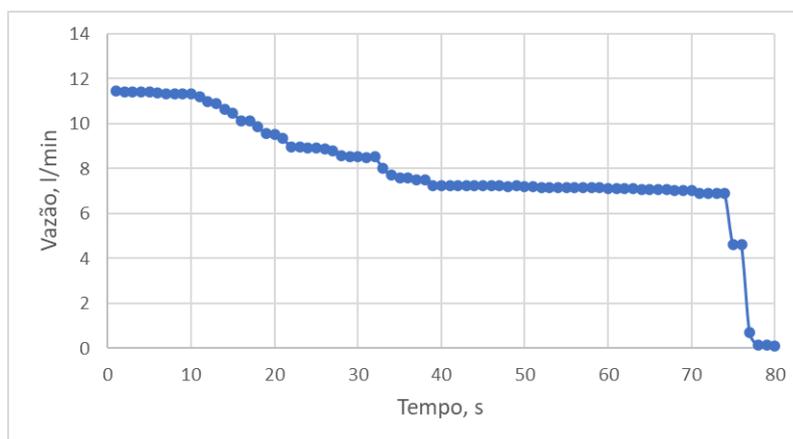


Figura 07: Gráfico da vazão em função do tempo;

Vale salientar, que as possíveis causas deste erro elevado são, provavelmente, ocasionadas pela oscilação da lâmina de fluido quando o nível está caindo, podendo ocasionar leituras erradas, mesmo com o esforço de otimização para o sensor. A perturbação é provocada por diferenças de pressão em relação à lâmina de fluido, em razão da posição lateral do flange e do pequeno volume do reservatório, que ao abrir a válvula de saída provoca pequenas ondulações.

Hidrômetros analógicos, usados pelas Companhias de abastecimento de água, apresentam uma faixa de erro com tolerância de medição de até  $\pm 10\%$ , enquanto o apresentado neste trabalho, 5,1%. Entretanto, em regimes na qual o escoamento é afetado pela presença de ar ou partículas, esse tipo de erro pode aumentar para valores de mais de 20%. Então, utilizando a metodologia do sensor ultrassônico em reservatórios fechados, este não sofre com a mistura de fluidos (ar e água) nas tubulações, podendo ser uma alternativa para os ambientes residenciais.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados demonstram uma provável viabilidade técnica do uso da plataforma Arduino e sensor ultrassônico HC-SR04 para mensurar a vazão. Contudo, analisando o erro percentual, a medição de nível estática com esse sensor apresentou uma melhor performance. Assim, para uma medição de vazão na qual a lâmina de fluido não apresente oscilações com o decaimento do nível, configura, teoricamente, uma situação ideal para o uso do sensor ultrassônico, minimizando o erro de medição. Entretanto, é necessário mais estudo para uma melhor conclusão.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFPB – Campus Esperança pelo financiamento de bolsas de pesquisa para as orientadas e pelo apoio financeiro para aquisição dos materiais e equipamentos utilizados na realização deste projeto, bem como, o pagamento de diárias e passagens para participação do evento.

## REFERÊNCIAS

BRASIL, TRATA. Saneamento- Principais estatísticas. Organização Trata Brasil, 2019.

Realização



COSTA NETO, Ermes; LIMA, Matheus de; ROLIM, Tiago Leite. Calibração de hidrômetro para água fria de vazão nominal de 1, 5 m<sup>3</sup>/h. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 26, p. 793-803, 2021.

DE SOUZA, Ivo Martins; DE OLIVEIRA, Rodolfo Francisco; Trabalho de Conclusão de Curso-TCC, IFSP – Campus Hortolândia. Sistema para Monitoramento de Reservatórios de Água-Aquameasure. 2017.

DOMINQUINI, Eduardo Bratfisch; DALFRÉ FILHO, José Gilberto; MARTIM, André Luiz Sotero Salustiano. HIDRÔMETROS: VILÕES DA SOBRETAXAÇÃO?, XXVIII Congresso de Iniciação Científica, UNICAMP, 2020.

MATEUS GOMES, Rolim; JOSÉ KELLSON, Lima; SUELIO FERNANDES, Carolino, Automatização de um Reservatório com Monitoramento de Nível e Controle de Vazão. CONTEC 2018, Maceió -AL.

MOREIRA, Ibsen. Estudo e Implementação de Técnicas de Medição de Nível de Água em Reservatórios. Anais Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT), v. 2, n. 1, p. 458-462, 2020.

NAKATANI, Alessandro Massayuki; GUIMARÃES, Anderson Valenga; NETO, Vicente Machado. Medição com sensor ultrassônico HC-SR04. In: International Congress on Mechanical Metrology. Gramado. 2014.

Realização

Apoio