



DENSEVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO ELETRÔNICO DE CONTAGEM DE PULSOS PARA MOLINETE HIDROMÉTRICO

Vinícius Burato Warmeling¹

Joao Mota Neto²

Marcio Zanuz³

Josiane da Rocha Silvano das Neves⁴

Resumo: Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um dispositivo eletrônico de contagem de pulsos acoplável a molinetes hidrométricos, utilizando a plataforma arduino e tecnologias de impressão 3D. O objetivo principal foi criar uma solução mais acessível e funcional para medição de vazão em corpos hídricos, especialmente em condições adversas, como águas turvas ou de alta velocidade, onde a precisão das medições manuais é comprometida. O sistema proposto integra um microcontrolador Arduino UNO, componentes acessíveis e uma carcaça impressa em 3D, resultando em um equipamento com aproximadamente 10% do custo de aquisição de modelos comerciais e desempenho eficiente comprovado. Os testes comparativos com um contador de pulsos comercial demonstraram que o protótipo alcançou resultados equivalentes, com erros percentuais médios de 5%, validando sua aplicabilidade prática. Além disso, o projeto destaca-se pela facilidade de manutenção e personalização, características não encontradas em dispositivos comerciais, permitindo contribuir na otimização e evolução do monitoramento hidrológico.

Palavras-chaves: Medição de vazão, contador de pulsos, baixo custo.

1 INTRODUÇÃO

A medição precisa da vazão em corpos hídricos é fundamental para a gestão ambiental na mineração, garantindo o cumprimento de legislações, como a Política Nacional de Recursos Hídricos, e auxiliando na compreensão dos passivos ambientais. Em áreas de mineração, o monitoramento contínuo de efluentes e recursos hídricos é essencial para avaliar impactos, planejar o fechamento de minas e assegurar a recuperação de áreas degradadas (ANA, 2013). Segundo Pinto, Moraes e Ribeiro (2013), a construção de uma base de dados hidrológicos consistente,

¹ Graduando em Engenharia de Minas, 2025-01. E-mail: vinicius.warmeling@gmail.com

² Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: joao.neto@satc.edu.br

³ Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: marcio.zanuz@satc.edu.br

⁴ Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: josiane.neves@satc.edu.br



necessária para um adequado gerenciamento dos recursos hídricos, é realizada a partir de técnicas de medição de vazão *in situ*.

Segundo Souza et al. (2018), existem diversos equipamentos para medir vazão em cursos d'água, como molinetes hidrométricos, sensores eletromagnéticos, ADCP, ADV e flutuadores. No entanto, tecnologias como ADCP, ADV e SRV costumam ter alto custo e apresentar limitações em campo, especialmente quando há rápidas variações no nível da água, elevadas velocidades de escoamento ou acesso restrito (Oliveira et al., 2016). Diante desses desafios e da precisão exigida, a escolha recai frequentemente sobre o método dos molinetes, que oferece melhor adequação às condições típicas de monitoramento hidrológico.

Apesar da ampla utilização dos molinetes, o mercado nacional apresenta uma lacuna significativa quanto à disponibilidade de soluções acessíveis para apoio à medição com molinetes. Equipamentos como os contadores de pulsos, essenciais para medições precisas em condições adversas, são caros, de difícil manutenção e com pouca flexibilidade técnica. Essa realidade impõe barreiras ao monitoramento contínuo, especialmente para instituições de pesquisa, consultorias de pequeno porte e projetos com orçamento restrito.

Diante desse contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um contador de pulsos de baixo custo, acessível e funcional, integrando conceitos de engenharia, eletrônica e Internet das Coisas (IoT).

Ao longo dos anos, o Arduino tem sido o cérebro de milhares de projetos, desde objetos do cotidiano até instrumentos científicos complexos. Uma comunidade mundial de criadores - estudantes, amadores, artistas, programadores e profissionais - se reuniu em torno desta plataforma de código aberto, suas contribuições somaram uma quantidade incrível de conhecimento acessível que pode ser de grande ajuda para novatos e especialistas (ARDUINOCC, 2025).

A solução é baseada em um microcontrolador Arduino e programação em linguagem C, permitindo o processamento dos dados gerados pelo sensor do molinete de forma automatizada, precisa e confiável. Utilizando materiais acessíveis e um design compacto com impressão 3D, o projeto busca não apenas reduzir os custos operacionais em comparação aos dispositivos comerciais, mas também oferecer uma nova metodologia viável e replicável para campanhas de medição de vazão, contribuindo com a inovação tecnológica no campo do monitoramento ambiental.



2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Esta seção apresenta os materiais e métodos empregados no desenvolvimento do sistema de contagem de pulsos para um molinete hidrométrico, utilizando um microcontrolador Arduino UNO e impressão 3D. São descritos os componentes utilizados, a metodologia adotada para a implementação do sistema e os procedimentos para validação do funcionamento do dispositivo.

2.1 MATERIAIS

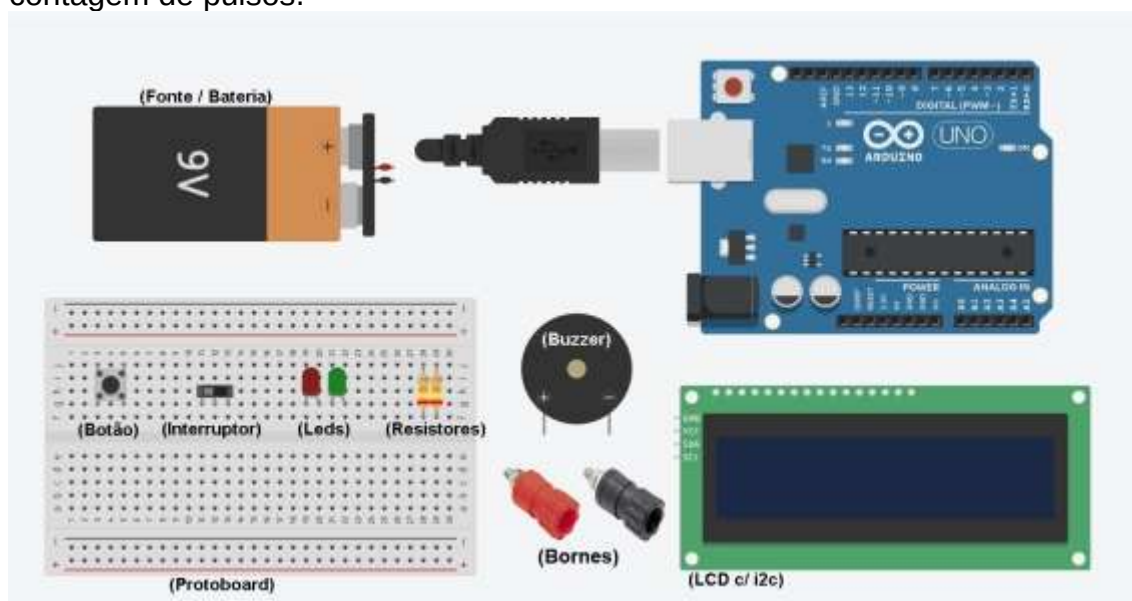
O sistema desenvolvido para o contador de pulsos foi construído utilizando a plataforma Arduino UNO, uma escolha estratégica devido à sua flexibilidade, baixo custo e ampla comunidade de suporte. O Arduino e outros microcontroladores permitem a integração de sensores, módulos e componentes de forma simples e eficiente, de fácil prototipagem e desenvolvimento de sistemas eletrônicos.

Os materiais necessários para o desenvolvimento do projeto foram divididos em duas categorias: equipamentos e *softwares* para a etapa de desenvolvimento (1) e materiais e componentes eletrônicos para a montagem do contador de pulsos (2). Para a fase de desenvolvimento, utilizou-se um computador com acesso à internet, essencial para pesquisa e programação, o *software* Arduino IDE, responsável pelo upload do código para o microcontrolador. A conexão entre o computador e o Arduino foi estabelecida por meio de um cabo USB tipo A/B. Para a tabulação e tratamento dos dados coletados, empregou-se um *software* de planilha eletrônica, como o Microsoft Excel. A modelagem 3D da carcaça do dispositivo foi realizada no ambiente online *TinkerCAD*, e a fabricação física da estrutura foi concretizada com o auxílio de uma impressora 3D.

Quanto aos itens utilizados na montagem do contador de pulsos, destacam-se: um microcontrolador Arduino UNO, responsável pela aquisição e processamento dos sinais dos sensores; uma mini *protoboard* de 170 pontos, que facilitou a distribuição dos jumpers; e 25 *jumpers* diversos para as conexões elétricas. A fonte para a alimentação do sistema pode ser utilizado baterias entre 7 e 12v ou um

powerbank recarregável. Para a interação com o usuário, incorporou-se um botão de pressão para iniciar a contagem e um *buzzer* para sinalizar o término do processo. Dois LEDs foram integrados ao sistema, um verde para indicar o status da alimentação e outro vermelho para sinalizar a detecção de pulsos, cada um com um resistor de 220Ω para garantir a operação dentro da faixa de tensão adequada e prolongar sua vida útil. A exibição das informações de contagem foi realizada por meio de um *display* LCD 16x2 com módulo I2C, que ofereceu uma interface clara e funcional. O molinete utiliza cabos com plug banana, neste caso foi utilizado duas entradas borne de 4mm para conexão entre o molinete e o contador. Por fim, um interruptor foi adicionado ao circuito para permitir ligar e desligar o dispositivo conforme a necessidade. A Figura 1 ilustra os itens para a montagem do contador de pulsos:

Figura 1: Ilustração dos materiais utilizados no desenvolvimento do sistema de contagem de pulsos.



Fonte: Do autor (2025).



2.1.1 Custo dos Materiais e Componentes Eletrônicos Utilizados no Projeto

Para a construção do protótipo do contador de pulsos, foi realizada uma estimativa dos custos médios dos materiais e componentes eletrônicos utilizados. Os valores apresentados na Tabela 1 foram obtidos a partir de pesquisas em lojas online e representam uma média dos preços praticados no mercado.

Tabela 1: Faixa de preço dos componentes eletrônicos encontrados em pesquisas online.

Componentes	Especificações	Faixa de preço (R\$)	Observações
Arduino UNO R3	Micro controladora (65X53mm)	50,00 – 100,00	Versão original ou compatível.
Mini Protoboard	170 pontos (35x55mm)	5,00 – 10,00	Para distribuição das entradas.
Jumpers	Macho-macho, macho-fêmea	5,00 – 15,00	Ligação entre os componentes e entradas.
Fonte de alimentação	Bateria (Entre 7 a 12V) ou <i>PowerBank</i>	10,00 – 100,00	Tensão de operação do Arduino é 5v.
Botão de pressão	<i>Push-button</i> (6x6mm)	1,00 – 5,00	Botão para ação.
Buzzer	Dispositivo sonoro 5V (10x10mm)	2,50 – 5,00	Para alerta sonoro.
LEDs	Verde e Vermelho (5x5mm)	0,50 – 1,00	Sinalizar operação.
Resistores	Maior ou igual a 220Ω	0,20 – 1,00	Equalizar corrente dos LEDs.
Display LCD 16x2 + I2C	Com módulo I2C (70x23mm)	20,00 – 40,00	Facilita conexão com Arduino.
Interruptor	Chave ON/OFF (1,5x1mm)	3,00 – 5,00	Função liga/desliga.
Borne	Para <i>Plug</i> Banana (4x4mm)	4,00 - 10,00	Conector para cabo do molinete.
Carcaça 3D	Impressão em ABS (16x9x4,20cm)	~150,00	Impresso por empresa terceira.
Total estimado	-	R\$251,40–442,00	Depende de marcas e fontes.

Fonte: Do autor (2025).



2.2 MÉTODOS

Para o desenvolvimento do contador de pulsos, adotou-se uma metodologia dividida em seis etapas principais, abrangendo desde a análise de requisitos técnicos até a validação experimental do protótipo. Essa abordagem garantiu a integração eficiente entre hardware, *software* e design, resultando em um sistema funcional e de baixo custo. A seguir, detalham-se os procedimentos realizados em cada fase.

1. Requisitos técnicos para utilização do contador de pulsos;
2. Análise do equipamento comercial existente;
3. Desenvolvimento da lógica da programação;
4. Montagem experimental para validação do sistema;
5. Modelagem da carcaça do projeto para impressão 3D e acomodação do sistema;
6. Teste comparativo entre o contador comercial e o desenvolvido;

2.2.1 Requisitos técnicos para utilização do contador de pulsos

O molinete hidrométrico é vendido e pode ser usado singularmente em canais com menos intensidade de correnteza, profundidade e turbidez ou cor. Porém, o contador de pulsos como este desenvolvido neste trabalho é um equipamento de suporte ao molinete, para operar principalmente dentro de condições adversas das águas superficiais para garantir as medições mais precisas de velocidade do fluxo d'água. A Figura 2 ilustra um caso de medição de vazão em condições adversas, pós-chuva, com alta turbidez e muita intensidade de correnteza. Um cenário que é imprescindível a utilização do contador de pulsos para garantir o ensaio.

Figura 2: Medição de vazão *in situ* com molinete hidrométrico e contador de pulsos em condições adversas.

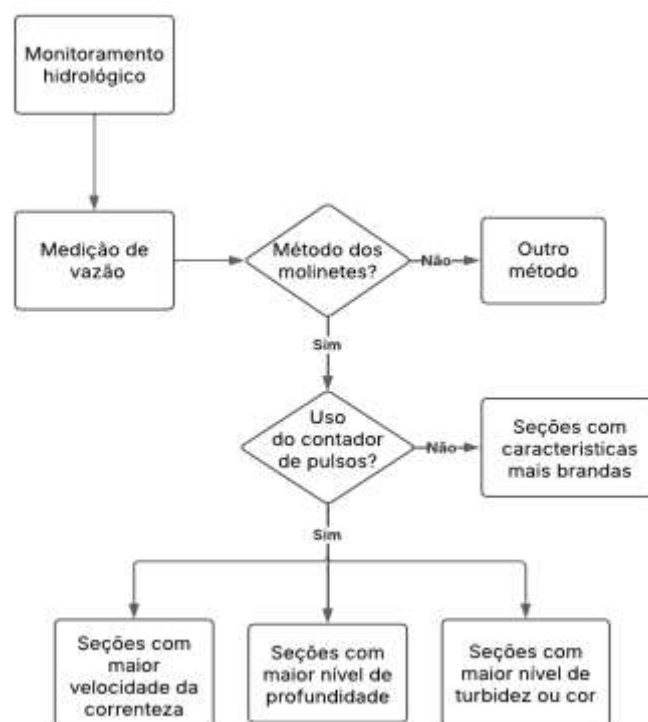


Fonte: Do autor (2023).

Além de ser um dado fundamental por si só, a vazão tem um papel crucial na interpretação dos demais parâmetros de qualidade da água. Durante campanhas de monitoramento ambiental, especialmente em áreas de mineração, a medição da vazão permite compreender o comportamento hidrológico do sistema ao longo do tempo. Situações como variações na concentração de contaminantes ou oscilações em parâmetros físico-químicos podem estar diretamente associadas a mudanças no regime de vazão, seja por chuvas intensas ou períodos de estiagem. Conforme o princípio de Ward e Trimble (2003), o escoamento superficial é uma resposta direta à intensidade pluviométrica. Segundo Freitas et al. (2015) dados do Distrito Federal comprovam que chuvas intensas podem elevar a vazão em até 387% em poucas horas, especialmente em bacias pequenas com solos saturados (ANA, 2020). Diante disso, a ausência de dados de vazão durante campanhas de monitoramento compromete a interpretação integrada dos resultados, dificultando a identificação de causas reais para as variações observadas e a tomada de decisões mais assertivas.

Seguindo essa linha de raciocínio foi elaborado um diagrama, Figura 3 abaixo, para ilustrar a relação dos requisitos técnicos para a utilização do método dos molinetes com o auxílio do contador de pulsos.

Figura 3: Diagrama da utilização do contador de pulsos no método dos molinetes.



Fonte: Do autor (2025).

A operação eficiente de molinetes hidrométricos, especialmente em ambientes com condições variáveis, exige atenção a diversos fatores técnicos que influenciam diretamente a qualidade e a confiabilidade das medições. Em especial, quando associados a contadores de pulsos eletrônicos, alguns parâmetros hidrológicos e ambientais tornam-se determinantes para a utilização do sistema. Assim, este tópico apresenta os principais requisitos técnicos que tornam obrigatório para o uso do contador de pulsos associado ao molinete, destacando fatores como profundidade da seção, velocidade da correnteza, turbidez da água e a minimização do erro humano.

- Profundidade da seção

A profundidade do corpo hídrico é um fator determinante para a correta medição da vazão, pois influencia diretamente a posição ideal do molinete para captar com precisão a velocidade do fluxo. Em rios e canais mais profundos, a distribuição



da velocidade varia ao longo da coluna d'água, exigindo medições em diferentes níveis para um resultado representativo (ISO 748:2021). Nessas condições, a visibilidade da rotação da hélice é prejudicada, tornando irrealizável a contagem visual das rotações.

- Velocidade da correnteza

Em seções com alta velocidade de escoamento, como representado na Figura 2, o movimento da hélice torna-se difícil de acompanhar visualmente. A força da corrente compromete a observação direta, tornando indispensável o uso de um contador de pulsos para garantir a medição correta das rotações.

- Turbidez e cor

A turbidez elevada e a coloração escura da água afetam não apenas a segurança do técnico durante o acesso ao canal, mas também dificultam a visualização dos componentes do molinete. Esse problema é mais crítico em profundidades superiores a 60 cm, onde são necessárias medições em diferentes níveis verticais (ISO 748:2021). Nesses cenários, o uso de um contador de pulsos torna-se essencial para assegurar a confiabilidade das leituras

- Fator erro humano

A contagem manual das rotações está sujeita a falhas decorrentes de distrações, interpretações equivocadas e variações entre operadores, especialmente em ambientes de difícil visibilidade e condições adversas. A automatização do processo com o uso de um contador de pulsos elimina essas interferências, garantindo que os pulsos sejam registrados eletronicamente em tempo real. Isso assegura maior precisão, reprodutibilidade e confiança nos dados obtidos.

2.2.2 Análise do equipamento comercial existente

Para o desenvolvimento do sistema proposto, foi realizada uma análise tanto do molinete hidrométrico quanto do contador de pulsos comercial utilizado em medições laboratoriais e de campo. O objetivo dessa análise foi compreender seu

funcionamento e identificar os principais parâmetros envolvidos na contagem de pulsos.

O molinete, ilustrado na Figura 4, em destaque possui uma hélice e uma entrada de cabo, com duas saídas: uma correspondente à carga negativa e outra vinda do sensor responsável pelo sinal de pulso. Possivelmente, trata-se de um sensor de efeito Hall, como sugere na Figura 5. Esse sensor faz a leitura utilizando o conjunto hélice do molinete, onde, em uma determinada parte da haste, há um ponto magnético responsável por captar o sinal a cada volta completa do conjunto.

Figura 4: Micro molinete hidrométrico comercial.



Fonte: Do autor (2025).

Figura 5: Conjunto da hélice e ponto magnético de um molinete comercial.



Fonte: Do autor (2025).

Com o molinete em mãos o primeiro teste realizado foi identificar o tipo de sinal que ele emitia, utilizando um multímetro foi identificado que se tratava de um sinal digital, ou seja, 1 ou 0. Quando está na posição neutra, no ponto magnético, será equivalente a um sinal *LOW* e quando começar a rotacionar e sair do ponto neutro, começa a emitir sinal *HIGH*.

O contador de pulsos, como pode ser observada na Figura 6, é composto por materiais e componentes simples, muitos dos quais são comumente utilizados no universo Arduino e IoT.

Figura 6: Contadores de pulsos comerciais.



Fonte: Do autor (2025).

O equipamento analisado possui um LCD, duas entradas para cabos, um LED pra sinalizar as rotações, uma alavanca liga/desligar, alguns botões para configuração e operação do sistema.

Essa análise utilizou-se como base para o desenvolvimento do protótipo, permitindo definir componentes e conceitos básicos para o funcionamento.

Figura 7: Conjunto montado, micro molinete com haste e contador de pulsos



Fonte: Do autor (2025).

Como informação complementar à análise, as Tabela 2 e Tabela 3 a seguir apresentam propostas para aquisição referentes a modelos comerciais de molinetes hidrométricos e contadores de pulsos, obtidos de duas empresas diferentes atuantes e já consolidadas no setor de hidrometria. Os valores apresentados servem como referência de custo aproximado para adquirir um conjunto para execução de ensaios de vazão hídrica.



Tabela 2: Proposta para aquisição de equipamentos para medição de vazão.

Quant.	Descrição	Valores (R\$)
01	Molinete Universal, Vazão 0,20 a 10,0 m/s, com haste a vau de aço inox 2,0 metros e bolsa para transporte. Com Certificado de calibração, garantia de um ano contra defeitos de fabricação.	14.816,00
01	Micro Molinete Medir Range de medição de 0,03m/s a 8,0 m/s haste a vau 1,5 metros com bolsa para transporte, certificado de calibração em canal hidrológico. Adequado para baixas profundidades a partir de 5cm.	12.690,00
01	Contador de Pulsos, contador convencional para Molinetes e Micro Molinetes, garantia de um ano contra defeitos de fabricação.	2.895,00

Fonte: Adaptado de um orçamento de empresa X do setor de equipamentos de hidrometria (2025).

Tabela 3: Proposta para aquisição de equipamentos para medição de vazão.

Quant.	Descrição	Valores (R\$)
01	Kit Molinete Fluviométrico Newton com haste de Vau e Contador de Pulso Eletrônico.	21.000,00
01	Kit Micro Molinete Fluviométrico Modelo Mini e Contador de Pulso Eletrônico	22.000,00

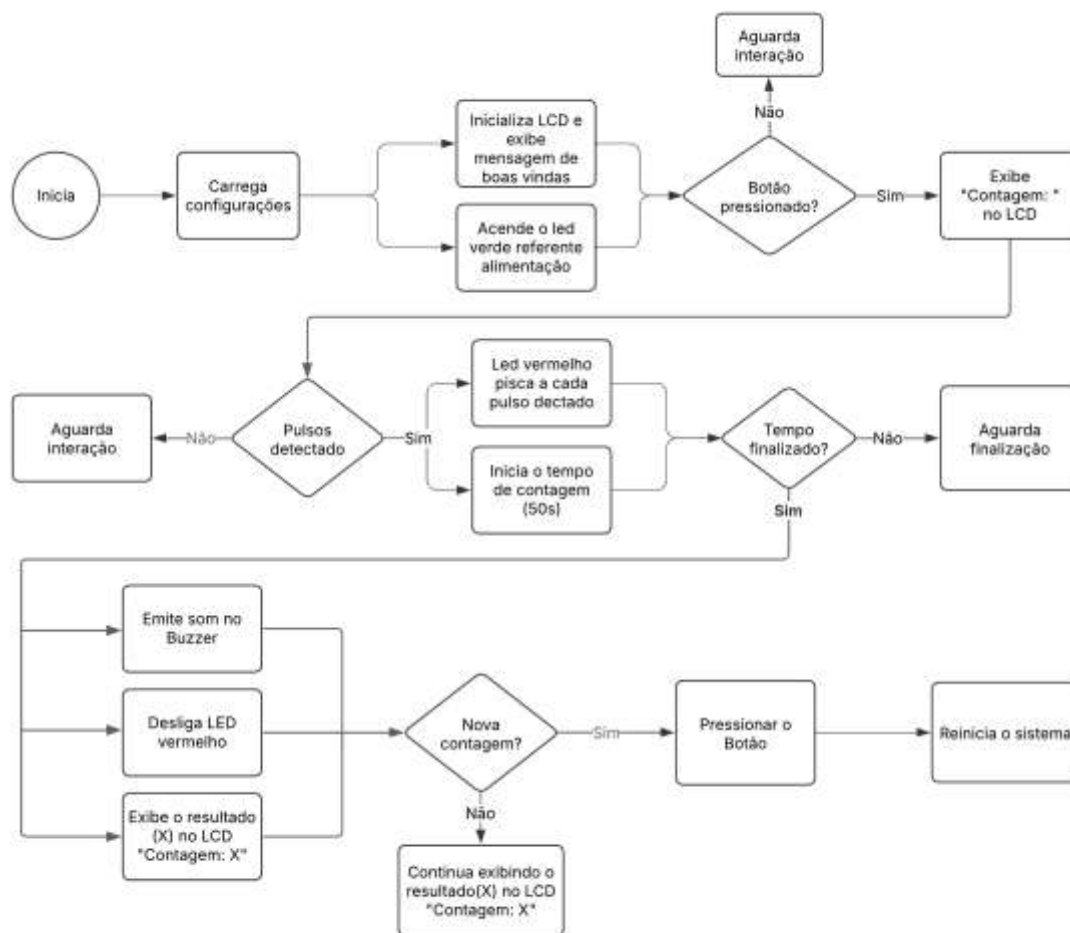
Fonte: Adaptado de um orçamento de empresa Y do setor de equipamentos de hidrometria (2025).

2.2.3 Desenvolvimento da lógica da programação

A partir das recomendações da fabricante do Arduino, foi utilizado o programa Arduino IDE, plataforma de desenvolvimento C/C++, para programação do microcontrolador. Também foi utilizado o ambiente online *Tinkercad* para o início do desenvolvimento da programação, pois dentro do mesmo existe a plataforma Arduino e grande parte dos componentes utilizados, possibilitando testes iniciais e minimizando erros no código.

Na Figura 8 abaixo está representado o diagrama de funcionamento lógico do sistema desenvolvido, onde todas as rotinas envolvendo leitura e captação de dados são tratadas.

Figura 8: Diagrama lógico do funcionamento da programação.



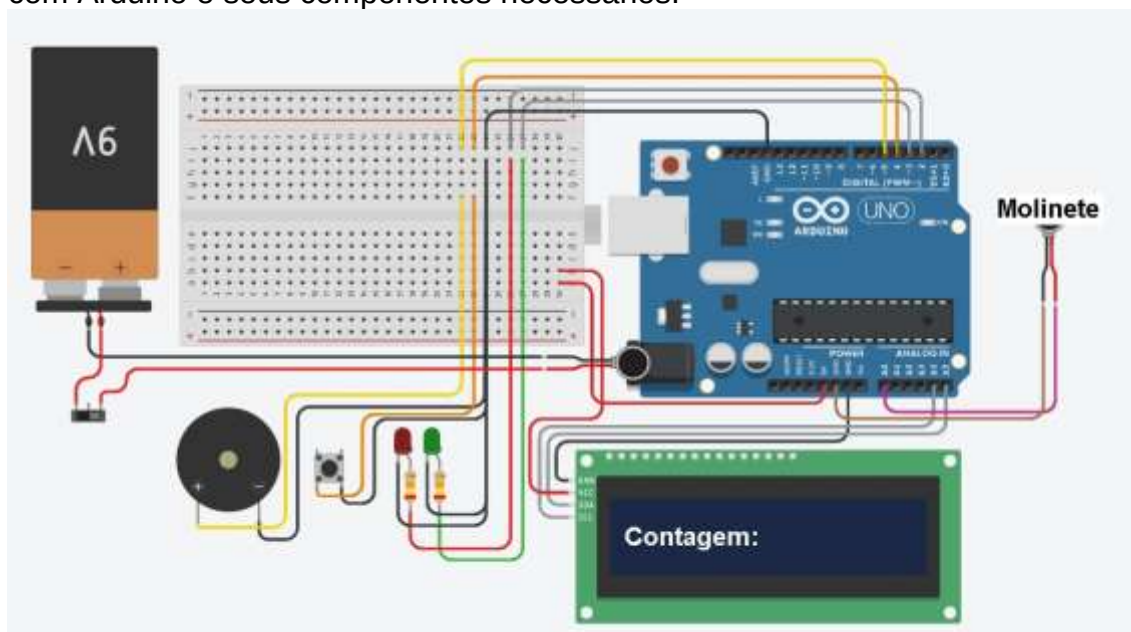
Fonte: Do autor (2025).

2.2.4 Montagem experimental para validação do sistema

Durante a inicialização do sistema, o *display* exibe uma mensagem de boas-vindas por aproximadamente cinco segundos. Em seguida, o sistema entra no modo de espera, aguardando a interação do usuário por meio do botão. A cada clique, o sistema alterna entre os espera, contagem ativa e reinício da contagem. Durante a contagem, o LED de funcionamento pisca a cada rotação registrada. Ao final do tempo programado, o *buzzer* emite um som, o LCD exibe a contagem final e o sistema pode

ser reiniciado com novos cliques no botão, permitindo a repetição do processo de forma cíclica. A Figura 9 apresenta o diagrama do projeto, ilustrando a montagem, as conexões e os pinos utilizados.

Figura 9: Circuito desenvolvido no *Tinkercad*, ilustrando a montagem do protótipo com Arduino e seus componentes necessários.



Fonte: Do autor (2025).

O sensor, molinete, foi conectado ao pino analógico A0 do Arduino, configurado como entrada com resistor de *pull-up* interno ativado. Este pino recebe um sinal em nível lógico baixo (*LOW*) a cada rotação, caracteriza um pulso. O controle do sistema é feito por meio de um botão do tipo *push-button*, conectado ao pino digital D4. Ele é responsável por alternar entre os diferentes modos de operação do sistema: espera, contagem ativa e reinício da contagem. Assim como o sensor, o botão também utiliza o recurso de *pull-up* interno para garantir estabilidade na leitura dos sinais.

Para a indicação visual do funcionamento do sistema, foram utilizados dois LEDs. Um LED de cor vermelha, conectado ao pino digital D3, acende brevemente a cada pulso detectado, indicando que o sistema está em funcionamento e recebendo sinais do sensor. O segundo LED, conectado ao pino D2, simula a condição de alimentação ou status do sistema, permanecendo aceso durante todo o tempo de operação.



O sistema também conta com um sinal sonoro, fornecido por um *buzzer* conectado ao pino digital D5, que é acionado ao final do tempo de contagem, previamente definido em 50 segundos. Esse intervalo foi adotado por garantir um resultado mais representativo, visto que a norma ISO 748:2021 recomenda um tempo mínimo de 30 segundos para medições com molinete. O som emitido, com frequência de 1000 Hz, serve como alerta para o usuário indicando o encerramento da coleta de dados.

A visualização das informações é feita através de um display LCD 16x2 com comunicação I2C, que exibe mensagens de status e o número de rotações contadas. O display está conectado aos pinos A4 (SDA) e A5 (SCL) do Arduino, seguindo o padrão de comunicação I2C, e é alimentado através dos pinos 5V e GND da placa.

2.2.5 Modelagem da carcaça do projeto para impressão 3D e acomodação do sistema

Para a proteção e acomodação dos componentes eletrônicos do contador de pulsos, foi desenvolvida uma carcaça utilizando modelagem 3D. O projeto foi elaborado no ambiente online *tinkercad*, uma plataforma acessível e intuitiva que permite criar modelos tridimensionais com precisão e praticidade. A impressão 3D se mostrou uma excelente solução para essa aplicação, pois possibilita a fabricação de peças personalizadas com um bom nível de detalhamento, permitindo ajustes e melhorias conforme necessário.

Segundo Gibson, Rosen e Stucker (2015), a impressão 3D permite a fabricação de peças complexas com relativa facilidade, baixo custo e possibilidade de produção doméstica, utilizando uma variedade de filamentos com propriedades mecânicas e térmicas distintas.

Neste trabalho a execução da impressão 3d foi realizada por uma empresa terceira que trabalha no setor, localizada em Criciúma, No entanto, pode ser realizado em casa se houver uma impressora 3d com uma área de impressão compatível com o projeto, neste caso: 16x9x4,20cm. Um tamanho pequeno e muitas impressoras disponíveis no mercado de custo relativamente baixo, já suportam.

Entre os filamentos mais comuns, se encontra o ABS que segundo Bassa (2021), oferece boa resistência mecânica e química, além de temperatura de fusão alta em relação à temperatura ambiente. Material com boa resistência no qual foi escolhido para o projeto.

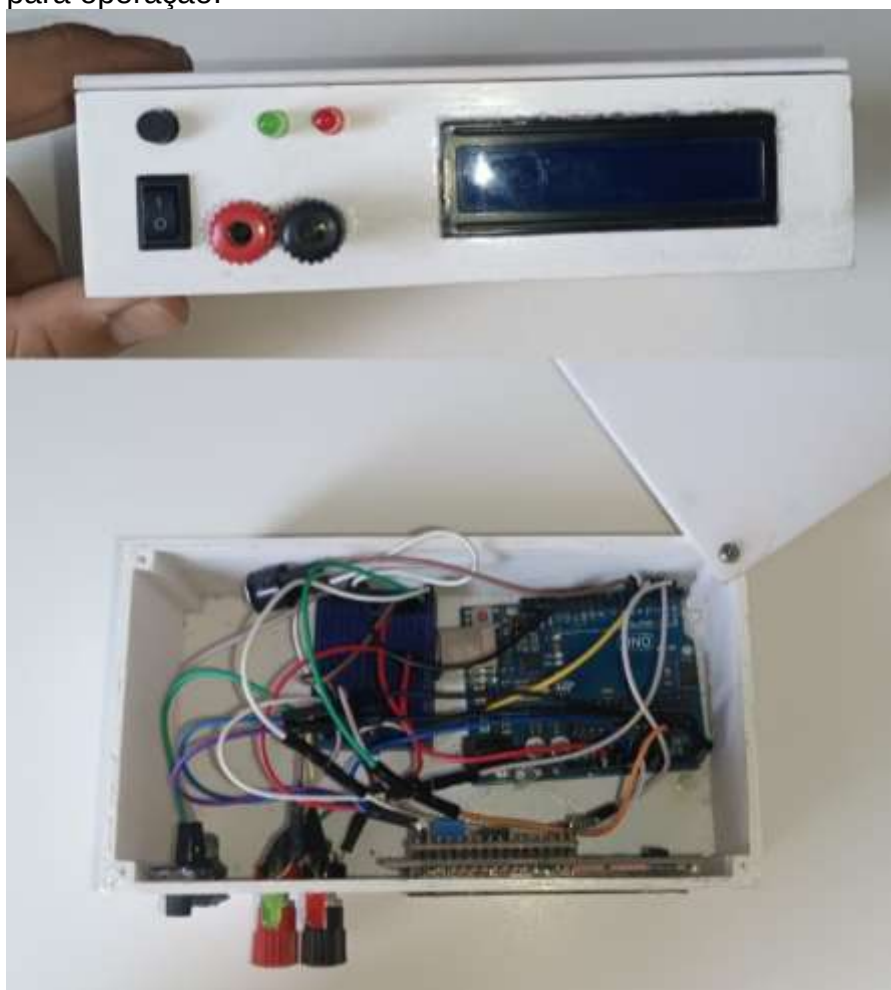
Figura 10: Vistas frontal e superior da carcaça 3D desenvolvida no *TinkerCAD* para o projeto.



Fonte: Do autor (2025).

A carcaça apresenta dimensões de 16 cm de comprimento, 9 cm de largura e 4,20 cm de altura. As demais medidas foram definidas com base nas especificações dos componentes listados na Tabela 1, acrescidas de 10% para garantir espaço adequado à montagem e acomodação dos elementos internos.

Figura 11: Vista frontal e superior do projeto com os componentes para operação.



Fonte: Do autor (2025).

2.2.6 Teste comparativo entre o contador comercial e o desenvolvido

Com o objetivo de avaliar a precisão e a reprodutibilidade do contador de pulsos desenvolvido, realizou-se um teste comparativo com um equipamento comercial amplamente utilizado para esse fim. Os testes foram conduzidos em condições iguais, de forma a garantir a equivalência entre os cenários avaliados e permitir uma análise coerente dos dados obtidos.

As condições de operação foram padronizadas: ambos os equipamentos foram posicionados na mesma seção de medição, utilizou-se o mesmo molinete hidrométrico e com o mesmo tempo de coleta de dados. O ambiente físico também foi mantido constante ao longo dos testes garantindo que a única variável entre as

medições fosse o sistema de contagem utilizado, o contador digital experimental e o contador comercial.

Durante os testes, os dois contadores operaram em sequência em cada distância determinada para o ensaio, registrando o número de rotações do molinete dentro do intervalo de tempo previamente estabelecido, de 50 segundos. A partir dos dados coletados, realizados em triplicada, foi elaborado uma tabela comparativa apresentando os valores obtidos por ambos os sistemas, permitindo-nos uma análise da diferença de contagem e, consequentemente, da confiabilidade do protótipo.

As figuras a seguir demonstram a realização da medição, o ambiente de teste e o registro de resultados de contagem em ambos os contadores.

Figura 12: Realização da medição de vazão no ambiente de teste, com contador comercial.



Fonte: Do autor (2025).

Figura 13: Registro de uma medição com o contador comercial.



Fonte: Do autor (2025).

Figura 14: Realização da medição de vazão no ambiente de teste, com contador projetado.



Fonte: Do autor (2025).

Figura 15: Registro de uma medição com o contador comercial.



Fonte: Do autor (2025).

A Tabela 4 abaixo apresenta os resultados obtidos:

Tabela 4: Teste de campo comparativo entre contador comercial e contador desenvolvido.

Distância	Profundidade	Rotações Contador Comercial	Rotações Contador Desenvolvido
0,2	8	0	0
0,4	10	100 / 106 / 99	107 / 100 / 101
0,5	10	47 / 43 / 38	44 / 48 / 39
0,7	0	0	0

Fonte: Do autor (2025).

Essa etapa é fundamental para demonstrar a eficácia do sistema proposto e validar seu desempenho frente a equipamentos consolidados no mercado, além de evidenciar seu potencial de aplicação prática em medições hidrométricas de campo.



3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O desenvolvimento do contador de pulsos baseado em Arduino e linguagem C demonstrou ser uma solução viável para medições hidrométricas. Durante os testes realizados, o sistema foi capaz de captar os pulsos gerados pelo sensor de maneira precisa, contabilizando corretamente as rotações da hélice do molinete hidrométrico.

A utilização da impressão 3D para a carcaça do equipamento se mostrou uma alternativa eficiente. Permite um design compacto e resistente a um custo reduzido. O material ABS escolhido apresentou boa rigidez estrutural, garantindo proteção adequada para os componentes eletrônicos.

Em relação aos custos do projeto, a Tabela 1 apresenta os valores médios dos componentes utilizados, obtidos por meio de pesquisas em plataformas de comércio eletrônico. Os dados demonstram que, com o uso do arduino e de materiais acessíveis, foi possível desenvolver um protótipo funcional com custo aproximado de R\$ 350. Em comparação, as Tabela 2 e Tabela 3 que reúnem orçamentos de modelos comerciais de contadores de pulsos disponíveis no mercado, cujos valores são pelo menos de dez vezes mais. Essa diferença evidencia o potencial do projeto como uma alternativa viável sem comprometer a confiabilidade das medições.

Além da questão econômica, um dos principais diferenciais do projeto é sua capacidade de personalização e manutenção simplificada. Diferente dos contadores de pulsos comerciais, cuja manutenção normalmente deve ser realizada pela própria empresa fabricante, além de apresentarem alto custo de reposição. O dispositivo desenvolvido permite ajustes e reparos de forma independente, garantindo maior flexibilidade em momentos de possível manutenção.

Por fim, os testes de campo indicaram que o sistema desenvolvido apresentou bom desempenho frente às variações de fluxo, registrando medições consistentes e compatíveis com as condições observadas. A Tabela 5 apresenta uma análise estatística comparativa entre os valores obtidos pelo equipamento desenvolvido e um modelo comercial de referência, permitindo avaliar a confiabilidade da solução proposta no contexto.



Tabela 5: Análise estatística dos resultados do teste em campo.

Distância (m)	Média C. Comercial	Desvio C. Comercial	Média C. Desenvolvido	Desvio C. Desenvolvido	Erro %Médio
0,2	0	0	0	0	0
0,4	101,67	3,79	102,67	3,79	4,89
0,5	42,67	4,51	43,67	4,51	6,88
0,7	0	0	0	0	0

Fonte: Do autor (2025).

Os resultados indicam que, nas duas seções com vazão detectável (distâncias de 0,4 m e 0,5 m), o contador desenvolvido apresentou médias de rotações muito próximas às do contador comercial, com diferenças mínimas. No ponto de 0,4 m, a média do comercial foi de 101,67 rotações, enquanto a do desenvolvido foi de 102,67 uma diferença de apenas 1 rotação. Já no ponto de 0,5 m, as médias foram de 42,67 e 43,67, respectivamente.

O desvio padrão, indicador de repetibilidade, também se mostrou semelhante entre os dois dispositivos, sugerindo que o contador desenvolvido possui estabilidade comparável à do equipamento comercial. Além disso, o erro percentual médio observado foi de 5% nas seções com medição ativa, o que reforça a confiabilidade do sistema proposto.

Com base nesses resultados, é possível afirmar que o protótipo desenvolvido foi capaz de substituir o equipamento comercial com desempenho compatível, porém a um custo significativamente menor. No entanto, ressalta-se que os testes foram realizados em um número limitado de seções e condições de campo. Assim, recomenda-se a realização de novos ensaios em diferentes cenários hidrológicos para consolidar a confiabilidade e a versatilidade do dispositivo em aplicações mais amplas.



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do contador de pulsos baseado em Arduino e programação em linguagem C apresentou resultados satisfatórios, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico. O protótipo demonstrou desempenho compatível com equipamentos comerciais, apresentando médias de rotação semelhantes, baixo desvio-padrão e erro percentual médio de 5%, conforme verificado nos testes em campo. Esses resultados comprovam a confiabilidade e a repetibilidade do sistema desenvolvido.

A utilização da impressão 3D possibilitou a criação de uma carcaça leve, resistente e personalizada, enquanto o uso de componentes acessíveis e de código aberto garante flexibilidade, facilidade de manutenção e possibilidade de replicação por outros profissionais ou instituições.

Além da eficácia técnica, o projeto destaca-se pelo custo reduzido: o valor estimado de produção gira em torno de R\$ 350,00, representando uma economia superior a 90% em relação aos modelos comerciais disponíveis.

Para trabalhos futuros, sugere-se a substituição da placa Arduino Uno por microcontroladores mais compactos e energeticamente eficientes, como o Pro Mini ou o ESP32. Além da redução no consumo de energia, esses dispositivos oferecem funcionalidades adicionais, como conectividade Wi-Fi e Bluetooth, que podem permitir, por exemplo, a transmissão remota de dados em tempo real ou a integração com aplicativos móveis.

Como continuidade deste trabalho, está previsto para o PFC II, no próximo semestre, o desenvolvimento de um molinete hidrométrico impresso em 3D, com o objetivo de integrar todos os componentes em um único conjunto, confiável e acessível para aplicação em ensaios de medição de vazão. Ressalta-se, ainda, a necessidade de realização de novos testes em diferentes seções e condições hidrológicas, a fim de validar a robustez do sistema em uma variedade mais ampla de cenários de campo.



REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 13403:1995 – Medição de vazão em efluentes líquidos e corpos receptores – Escoamento livre.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos. Brasília: ANA, 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Manual de Hidrologia Básica. Brasília: ANA, 2020. 265 p. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/outros-documentos-da-ana>. Acesso em: 15 abr. 2025.
- ARDUINOCC. What's Arduino? Disponível em: <https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/whats-arduino/>. Acesso em: 30 mar. 2025.
- AUTODESK. *Tinkercad*. Disponível em: <https://www.tinkercad.com/>. Acesso em: 30 mar. 2025.
- BASSAN, Pedro Matiotti. Análise do comportamento mecânico do ABS de acordo com os aditivos encontrados em filamentos para impressão 3D. 2021. 39 f. Trabalho de Graduação (Engenharia de Materiais) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/3719196f-6c1d-4838-997d-4fa863336769/content>. Acesso em: 21 abr. 2025.
- BRASIL. Lei Federal n 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1 da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 1997.
- ELETROGATE. Plataforma de comércio eletrônico de componentes eletrônicos, kits de robótica e equipamentos para automação. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/>. Acesso em: 21 abr. 2025.
- FREITAS, Érica Yoshida de et al. Estudos preliminares das interações entre precipitação, vazões de águas superficiais e níveis freáticos em poços da rede de monitoramento da ADASA. In: XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2015, Brasília. Anais... Brasília: ABRHidro, 2015. p. 1–8.
- ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 748:2021 – Hydrometry – Measurement of liquid flow in open channels using current-meters or floats. Genebra: ISO, 2021.
- MALDONADO, L. H.; WENDLAND, E. C.; PORTO, R. de M. Avaliação de métodos de baixo custo para medição de vazão em córregos. *Revista Ambiente & Água*, v. 10, n. 2, p. 402–412, 2015.



NASCIMENTO, Flávia M. F. et al. Impactos ambientais nos recursos hídricos da exploração de carvão em Santa Catarina. Rio de Janeiro: CETEM, 2001. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/jspui/bitstream/doc/906/1/evento_nascimento.pdf. Acesso em: 30 mar. 2025.

OLIVEIRA, F. A. et al. Uso de modelo hidrodinâmico para determinação da vazão a partir de medições de nível. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 21, n. 4, p. 707–718, out./dez. 2016.

PINTO, V. G.; MORAES, M. F.; RIBEIRO, C. B. M. Análise comparativa entre velocímetro acústico de efeito Doppler e molinete hidrométrico: estudo de caso no Ribeirão Espírito Santo – Juiz de Fora (MG). In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Bento Gonçalves – RS, 2013.

SOUZA, J. W. F. et al. Otimização do método dos molinetes com ajuste do perfil hidrodinâmico para a estimação da descarga líquida em corpos hídricos. Revista Principia, n. 38, p. 61–68, 2018.

WARD, Andy D.; TRIMBLE, Stanley W. Environmental Hydrology. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2003. 475 p. ISBN 978-1566706162.