

## XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### O MOLINETE HIDROMÉTRICO JÁ PODE SE APOSENTAR?

*Fernando Dornelles<sup>1</sup>*

**Resumo:** O surgimento de equipamentos acústicos e a disponibilização no mercado criou uma expectativa de que os molinetes hidrométricos seriam substituídos rapidamente. As previsões de que os molinetes cairiam em desuso eram plausíveis, tais como: maior rapidez na atividade de medição de vazão com obtenção do valor de vazão imediata, representação mais detalhada do campo de velocidades da seção hidráulica, possibilidade de medição de descarga sólida e reduzida necessidade de manutenção e alguns alegam maior exatidão. Este trabalho faz resgate de algumas informações para situar temporalmente o início das medições de vazão com molinetes até o início do uso de perfiladores acústicos (ADCP) no Brasil, e analisa a tendência do uso de molinetes, de uma maneira indiretamente, por meio do número anual de calibrações de molinetes que foram realizadas no IPH/UFRGS entre 1999 e maio de 2023. A aplicação do teste de estacionariedade de Spearman indica que não há tendência, nem de redução, nem de ampliação do número de calibrações ao longo do tempo analisado, ou seja, esta estabilidade desde 1999 pode ser um indicativo de que o molinete não está deixando de ser utilizado no Brasil.

**Palavras-Chave** – Molinete hidrométrico, Hidrometria, Calibração, ISO 3455/2021

#### INTRODUÇÃO

Historicamente, o procedimento mais comum para medição de vazão em rios envolve o cálculo da velocidade média em uma seção transversal amostrando o campo de velocidades em toda a largura e profundidade perfil do rio. (McMillan et al., 2012), e o molinete hidrométrico foi, até os anos 1990, o instrumento padrão empregado nestas medições, a partir de então entraram no mercado os instrumentos acústicos.

Antes dos molinetes hidrométricos, como conhecemos, diversos outros instrumentos eram utilizados para medir vazão de cursos d'água, como flutuadores (Figura 1a), flutuadores amarrados (Figura 1b), defletores ou remos (Figura 1c) e rodas d'água (Figura 1d), porém estes instrumentos permitiam medir apenas a velocidade junto à superfície, ao não levar em conta a distribuições de velocidades no perfil vertical obtinham valores com erros importantes.

Apesar de já existir desde 1732 um instrumento capaz de medir velocidades em pontos abaixo da superfície da água, o tubo desenvolvido por Henri de Pitot (1695 – 1771), este instrumento tinha o inconveniente de não ser prático para profundidades maiores.

Assim, o primeiro a desenvolver um equipamento capaz de amostrar pontos abaixo da superfície da água foi o inglês Robert Hooke (1635 – 1703), que também foi o autor da Lei da Elasticidade. Hooke se inspirou nos velocímetros navais com rotores que eram muito utilizados naquela época, século XV e XVI (era das Grandes Navegações) e desenvolveu um molinete de eixo horizontal. No entanto, seu invento não teve adesão e assim, quase um século depois em 1786, surge na Alemanha outro molinete para medição de velocidades, desenvolvido por Reinhard Woltman em 1786, apresentado na Figura 2. Segundo Staubli, (1988) a tradição na fabricação de molinetes na Alemanha foi firmada por Albert Ott em Kempten na Bavaria, ele influenciou para que molinetes de eixo horizontal fossem os mais utilizados na Europa, e criou uma marca de equipamentos para hidrometria que muito conhecida atualmente.

1) Professor Associado do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS – Email: fernando.dornelles@ufrgs.br

Figura 1 – Flutuadores (a), flutuadores amarrados (b), defletores ou remos (c) e rodas d'água (d) (Fraizer, 1974)

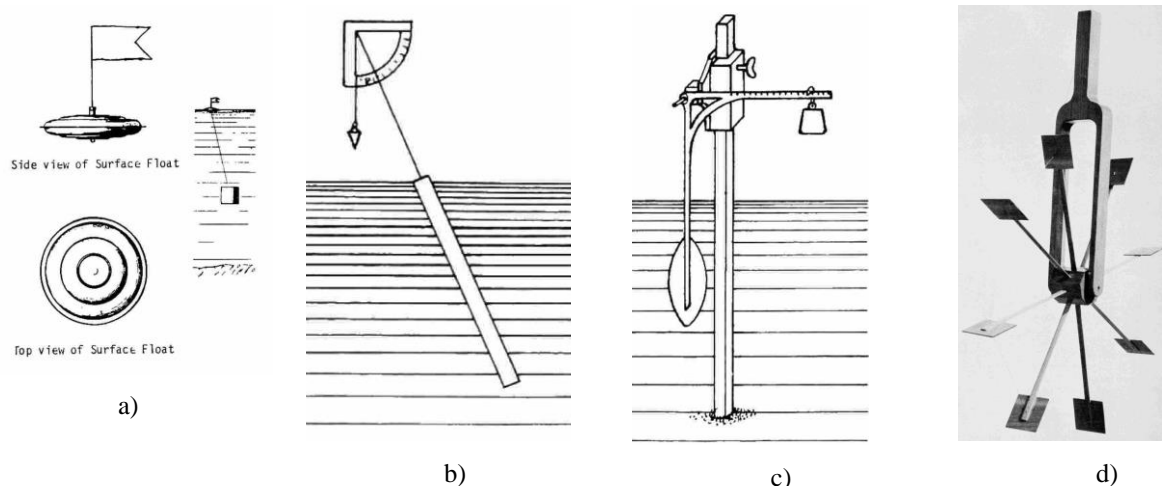
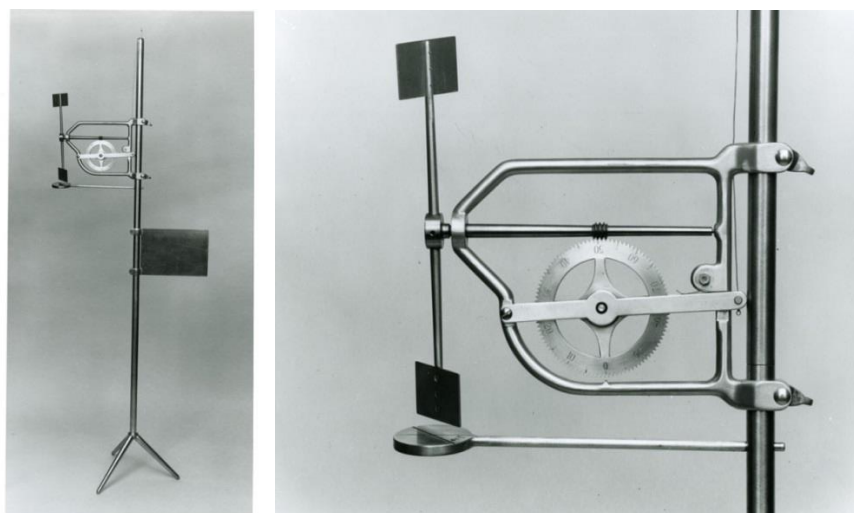
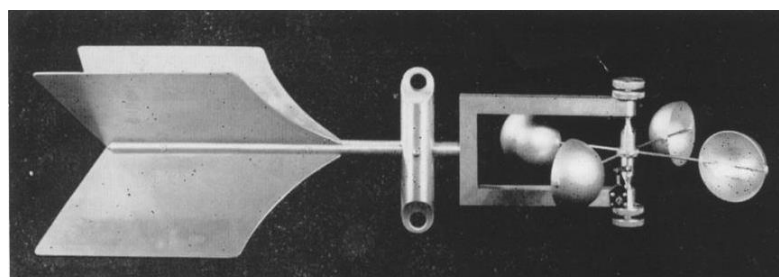


Figura 2 – Réplica do molinete construído em 1786 por Reinhard Woltman – Fonte: *National Museum of American History* (disponível em: [https://americanhistory.si.edu/collections/search/object/nmah\\_1135159](https://americanhistory.si.edu/collections/search/object/nmah_1135159))



Nos Estados Unidos, a preferência por molinetes de eixo vertical se deu pelo desenvolvimento do molinete de copos (Figura 3) de Daniel Farrand Henry entre 1867 e 1868 adaptando anemômetros para isso e já implementando uma contadora elétrica, grande inovação para época, tanto que foi exibido como equipamento elétrico na Feira de Exposições Internacional em Filadélfia no ano de 1876 em comemoração ao centenário de independência dos EUA.

Figura 3 – Réplica do molinete de eixo-vertical desenvolvido entre 1867-68 por Daniel Farrand Henry para medição da foz dos Grandes Lagos nos EUA Fonte: *Journal of the Franklin Institute* (1869)



Com o tempo e o aumento do interesse dos EUA em montar uma rede de monitoramento hidrológico, principalmente para sistemas de irrigação no Oeste e para comissões de bacias hidrográficas, como a do rio Mississippi, outras pessoas contribuíram com aperfeiçoamentos nos

molinetes de eixo-vertical, como o General Theodore Grenville. Ellis (1829 – 1883), o engenheiro mecânico Edwin S. Nettleton (1831 – 1901) e o matemático e engenheiro William Gunn Price (1856 – 1928), este último provavelmente o que teve maior notoriedade neste campo, tendo registrado em 1885 patente e acertado com William Gurley para iniciar a produção em sua fábrica, a W. & L. E. Gurley. O trabalho de Frazier (1974) trás uma rica e bem documentada história do desenvolvimento dos molinetes hidrométricos, com base em informações do Museu Nacional de História e Tecnologia da Instituição Smithsonian.

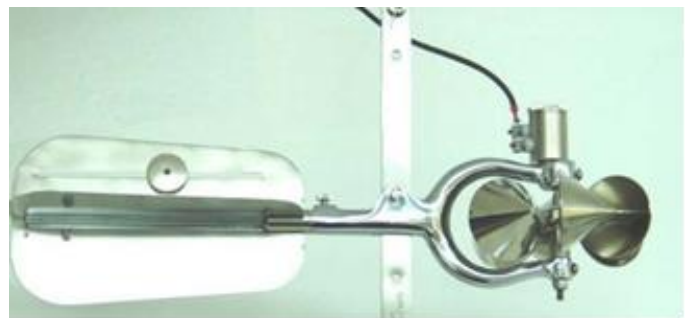
## O MOLINETE HIDROMÉTRICO

Chamado de método convencional, após o surgimento dos equipamentos acústicos, o uso de molinete hidrométrico para a medição de vazões é considerado o método mais tradicional utilizado, mesmo apresentando maior dificuldade de obtenção de dados em grandes profundidades e requerendo maior tempo de execução, quando comparado ao método acústico (SANTOS *et al.*, 2001). O aspecto atual destes equipamentos fabricados pela OTT Hydromet (esquerda) e a Gurley Precision Instruments (direita) é apresentado na Figura 3. Existem ainda os chamados micro-molinetes para medição a vau, que permitem medir fluxos em pequenas profundidades a partir de 4,0 cm, que são os modelos, com diâmetros de 50 mm (Figura 4).

Figura 3 – Aspecto atual dos molinetes dos fabricantes: OTT Hydromet e Gurley Precision Instruments, Inc.



Modelo OTT C31 Universal de eixo horizontal  
Fonte: <https://www.ott.com/>

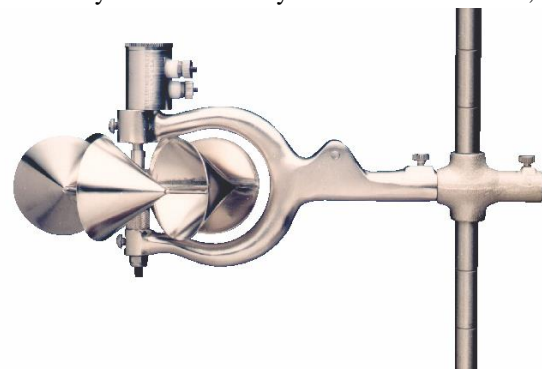


Modelo 622AE de eixo vertical  
Fonte: <https://www.gurley.com/>

Figura 4 – Aspecto atual dos micro-molinetes dos fabricantes: OTT Hydromet e Gurley Precision Instruments, Inc.



Modelo OTT C2  
Fonte: <https://www.ott.com/>



Modelo Gurley Pygmy  
Fonte: <https://www.gurley.com/>

O princípio de funcionamento dos molinetes é extremamente simples, consiste em uma hélice conectada a um eixo horizontal, ou carrossel de copos em eixo vertical, que ao ser colocado na água sofre rotação. O número de revoluções em um determinado período de tempo fornece a velocidade de escoamento por meio de uma função linear (Equação 1) calibrada para cada instrumento que relaciona o número de rotações por segundo com a velocidade da água (Boiten, 2003).

$$v = K \cdot n + \Delta \quad (1)$$

Sendo:

$v$  = velocidade da água (m/s)

$n$  = revoluções por segundo (s<sup>-1</sup>)

$K$  = passo do molinete (m)

$\Delta$  = parâmetro de posição de função linear (m)

Em relação ao tipo de molinete, se de eixo horizontal ou vertical, a WMO (2010) apresentou um comparativo entre os dois tipos de molinete com base em levantamentos realizados entre 1958 e 1960. Obtiveram-se resultados muito semelhantes para as 19 medições de descarga líquida no Rio Mississippi, sendo as maiores diferença, negativas e positivas, encontradas nas medições de -2,76% a 1,53%, assim podemos afirmar que independe o tipo de molinete usado.

Diversos trabalhos avaliaram a incerteza do uso de molinete na medição de vazões em rios como em WMO (2010), Hayes *et al.* (2012), Vidal e Souza (2009). Mas é importante destacar, que estudos que avaliam a incerteza de medição vazão com molinetes hidrométricos não conseguem apresentar a contribuição isolada do instrumento na incerteza total, assim a incerteza se dá mais pelas atividades que envolvem o posicionamento ao longo das verticais do molinete nos pontos a serem amostrados e distâncias entre verticais, valendo a máxima que existem dois valores da vazão de um rio: a real, que não a conhecemos, e a que medimos!

Assim, os usuários de molinetes adquiriram experiência e confiança ao longo de muitas décadas, já que a verificação do seu bom funcionamento é bastante simples, que é verificar se movimento está livre, sem parar abruptamente e se gera pulsos. Por serem bastante robustos, e por terem reparos e manutenção simples eles podem manter condições de uso por várias décadas.

Mas obviamente, o surgimento dos equipamentos acústicos fez com que os molinetes passassem a sofrendo uma substituição gradual, devido à praticidade destes novos equipamentos, bem como redução do tempo de medição e a ausência de partes móveis, além de se tratar de um método não invasivo da maior parte da coluna de água e não necessitando de equipamentos acessórios como trenas, guinchos ou estações totais para medição (Motta, 2016).

## OS EQUIPAMENTOS ACÚSTICOS

Os equipamentos acústicos mede a velocidade da água utilizando o princípio da física de ondas descoberto por Christian Johann Doppler (1842). O princípio de Doppler relaciona a mudança na frequência de uma fonte de onda com as velocidades relativas da fonte e do observador. Para medir a velocidade da água o equipamento emite um sinal acústico na água e depois aguarda o sinal de retorno do espalhamento acústico causado pelos sedimentos na água. Este sinal de retorno sofre processamento para o cálculo do desvio Doppler usando uma forma de autocorrelação em que o sinal é comparado posteriormente consigo mesmo (WMO, 2010).

Começaram a ser desenvolvidos ainda na década de 1960 e, atualmente, é possível acessar facilmente material com descrição dos equipamentos acústicos, bem como manuais e cursos para seu uso, no entanto informações de como operam internamente passaram a ser objeto de pesquisas com interesse comercial, não se encontrando mais, ao menos facilmente, trabalhos como de Carvalho (1999), que investigou o processamento de dados de um ecobatímetro adaptado para operar como um ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*).

No Brasil a primeira campanha de medição de vazão com ADCP em rios da bacia amazônica ocorreu em 1994 no âmbito do programa HIBAM (Hidrologia da Bacia Amazônica, DNAEE/CNPq/ORSTOM), os resultados obtidos com o ADCP puderam assim ser comparados

com os valores obtidos por métodos usualmente utilizados durante o Curso Internacional de Medição de Descargas Líquidas em Grandes Rios, ao término da campanha foi possível concluir que esta é uma ferramenta notável para a medição de vazões no rios da Bacia Amazônica.

Devido aos complexos processamentos executados internamente uma série de fontes de erro podem contribuir para a incerteza geral de uma medição de vazão de um ADCP, a WMO (2010) cita 20 possíveis fontes de erro, definidas como erros de medição elementares, são elas: 1) resolução espacial, 2) ruído Doppler, 3) velocidade ambígua, 4) interferência do lobo lateral, 5) resolução temporal, 6) estimativa da velocidade do som, 7) ângulo da coluna de som, 8) velocidade de navegação (*bottom tracking* ou GPS), 9) tempo de amostragem 10) vibração por ressonância próximo ao transdutor, 11) referencia da velocidade de navegação, 12) batimetria, 13) mapeamento de células, 14) rotação (*pitch, roll e heading*), 15) tempo, 16) distâncias até as margens, 17) extrapolação do perfil vertical de velocidades, 18) modelo de descarga, 19) integração do campo de velocidades, 20) Condições hidráulicas da seção e de operador.

No PREGÃO ELETRÔNICO Nº 0003/SUREG-PA/2018 para contratação de calibração de molinetes é mencionado que atualmente os medidores acústicos de vazão têm sido mais utilizados, mas que, por serem equipamentos eletrônicos, estes estão mais sujeitos a problemas que os molinetes. E acrescenta que é fundamental que as equipes de hidrometria tenham molinetes disponíveis durante as campanhas de campo, para eventuais emergências.

Como os perfiladores acústicos não são capazes de medir profundidades pequenas foram desenvolvidos instrumentos para este fim, conhecidos como ADV (*Acoustic Doppler Velocimeter*), estes são equivalentes ao micro-molinetes, sendo utilizados para medições a vau.

O objetivo aqui não é avaliar o desempenho dos equipamentos acústicos, mas embasar o leitor a respeito dos possíveis problemas de medição que estes instrumentos podem apresentar, e que são, em sua maior parte, difíceis de serem detectados em campo, assim não será tratado aqui a respeito diversos aspectos que envolvem o uso de equipamentos acústicos para medição de vazão.

Mais informações a respeito de equipamentos acústicos para medição de vazões em rios podem ser consultadas nas seguintes fontes: ANA (2009), WMO (2010) e em Gamaro (2012).

## CALIBRAÇÃO DE MOLINETES HIDROMÉTRICOS

De modo geral os molinetes novos são calibrados de fábrica, mas existe a necessidade de realizar recalibração periódica. Santos et al. (2001) mencionam a importância de realizar de tempos em tempo uma calibração dos molinetes hidrométricos, pois é a única forma de detectar alterações na relação rps e velocidade, porém não especifica um intervalo de tempo, assim como Boiten (2005) que menciona que os molinetes são excelentes ferramentas para medições exatas, desde que boas condições de manutenção, corretamente utilizado e com calibração verificada regularmente.

Existem diferentes critérios para a calibração, algumas agências adotam equação padrão para todos os seus molinetes, enquanto outras agências determinam equações individuais para cada molinete. Como por exemplo, o USGS (Serviço Geológico dos Estados Unidos) e a *Water Survey* do Canadá que usam molinetes Price AA e Pygmy, mas o USGS aplica uma equação padrão todos os molinetes, enquanto o *Water Survey* aplica equações individuais (WMO, 2022).

No relatório final da *Commission for Observation, Infrastructure and Information Systems: WMO-Nº. 1306* (WMO, 2022) está a informação de que a periodicidade de 3 anos entre calibrações é o critério mais adotado pelas agências nacionais responsáveis pelo monitoramento hidrometeorológico. Já no Brasil a CRPM (Serviço Geológico do Brasil) tem adotado a periodicidade de 2 anos, segundo as justificativas para a contratação de serviço de calibração em processos de pregão eletrônico (PREGÃO ELETRÔNICO Nº 0003/SUREG-PA/2018).

A norma internacional ISO: 2537-2007 (ISO, 2007) recomenda que o equipamento deva ser recalibrado sempre que seu desempenho for duvidoso, e acrescenta que na prática, a recalibração deve ser realizada em intervalos anuais ou após um número de vezes que foi utilizado, o que for menor. Antes de realizar a recalibração, deve-se garantir que o medidor de corrente seja devidamente reparado, suas peças desgastadas sejam substituídas e o eixo rotor esteja em ordem.

Até o momento no Brasil não há norma técnica que padronize a calibração de molinetes hidrométricos. Internacionalmente existe a ISO 3455:2021 que teve sua primeira versão publicada em 1976 e indica como método padrão o reboque por carro em canal com água estática. Este método consiste em estabelecer velocidades constantes em um carro sobre trilhos com o molinete submerso, para assim medir com exatidão a velocidade e o número de pulsos gerados pelo molinete, para então, com estes dados, ajustar os parâmetros  $K$  e  $\Delta$  (equação 1) de uma ou mais equações lineares, relacionando a taxa de pulsos por segundo e a velocidade de escoamento da água.

O comprimento do tanque deve ser suficiente para que, descontados os trechos iniciais e finais de aceleração e frenagem, reste um comprimento que permita ao sistema de coleta de dados amostrar as velocidades e pulsos em velocidade uniforme (ISO-3455:2021). Para isso são levados em conta fatores, como: taxa de amostragem da velocidade e número total de pulsos gerados no trecho, este último sendo sensível ao passo do molinete, onde os erros maiores são imputados aos molinetes de maior passo, devido ao erro da posição inicial e final da hélice.

Já a altura e largura do canal, estes influenciam na velocidade de propagação das ondas produzidas pela perturbação que o molinete gera na massa d'água, assim o tanque deve ter suas dimensões de acordo com o tamanho e a velocidade máxima de calibração (ISO-3455:2021).

## CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS ACÚSTICOS

Os equipamentos acústicos têm sido amplamente utilizados, no entanto têm pouco controle metrológicos, principalmente devido à sua faixa de medição e devido à complexidade de seus algoritmos. Enquanto os molinetes hidrométricos são calibrados adequadamente em tanques, os equipamentos acústicos em tanques enfrentam problemas de retorno de sinal devido à baixa concentração de partículas nessas instalações, além da profundidade de alcance necessária, esse método não pode ser aplicado (Menn e Morvan, 2020).

Devido à dificuldade de reprodução das condições de campo em laboratório, o desempenho de equipamentos acústicos é determinado por meio de verificações de componentes eletrônicos internos, alinhamento e potência do feixe, calibração da bússola e do termômetro (WMO, 2022), por comparação de resultado de medições de vazão com outros equipamentos acústicos, molinetes e outros (também chamadas de “*regattas*” fora do Brasil), e em tanques para verificar as velocidades do rastreamento de fundo (*bottom tracking*) e da água (Oberg e Mueller, 2007).

Com exceção de eventos de intercomparação de resultados (*regatas*) as demais possibilidades de verificação do funcionamento dos equipamentos acústicos dependem de infraestrutura especializada, sendo existentes e viáveis, quase que exclusivamente, apenas nos laboratórios dos fabricantes, gerando assim dificuldades para uma verificação periódica.

## CANAL DE CALIBRAÇÃO DE MOLINETES DO IPH/UFRGS

Uma pequena nota (Quadro 1) na revista técnica e informativa da CPRM “A Água em Revista” de novembro de 1995 anunciou a assinatura do convênio com o IPH/UFRGS para implantação do canal de calibração para molinetes hidrométricos. A demanda por uma estrutura capaz de realizar calibrações seguindo a normativa internacional, a ISO 3455-1976 àquela época, era muito mais necessária já que os equipamentos acústicos recém estavam entrando no mercado,

como anunciado na edição de maio de 1996 pela mesma revista técnica da informativa, onde anunciava a compra do primeiro perfilador acústico pela CPRM.

Quadro 1 – Recorte da nota na “A Água em Revista” anunciando o convênio da CPRM com o IPH/UFRGS para construção do canal de calibração de molinetes

### Canal de Aferição de Molinetes Hidrométricos

A CPRM assinou um convênio com o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com o objetivo de implantar um sistema para aferição de molinetes hidrométricos.

Essa iniciativa visa a atender às demandas existentes no país, visto que é reduzido o número de canais de aferição.

A CPRM dispõe de cerca de 220 molinetes utilizados nas medições de descarga nas estações por ela operadas.

O convênio ora assinado abre um importante espaço na relação entre a CPRM e a universidade, para aperfeiçoamento de metodologias e desenvolvimento de novas tecnologias.

O canal de calibração, ou de canal de velocidades, do IPH/UFRGS entrou em operação no ano de 1999, O projeto seguiu as recomendações da norma internacional “ISO – 3455 - *Hydrometry — Calibration of currentmeters in straight open tanks*”, resultando em um tanque com água estática de comprimento de 60 metros, largura de 3,00 m e profundidade de 2,80 m, isso garante as características hidráulicas para não influenciar o equipamento em calibração (Figura 5).

Ainda sobre a concepção de projeto adotada, a opção foi por um carro tracionado a velocidade constante por motor estacionário (Figura 6, esquerda) ao invés de um carro auto-propulsado como acontece na maioria dos sistemas existentes em outros países. A tração do carro é feita através de correias planas e cabos de aço. A estrutura do carro é treliçada, em alumínio soldado, bastante rígida e leve. A massa é de cerca de 75 kg. O motor com potência de 25 HP nominais pode fornecer potências bem maiores em regime transitório, durante as fases de aceleração e desaceleração, sob o controle de um conversor vetorial programável de alto desempenho. Assim, o carro pode ser acelerado e desacelerado a  $10,00 \text{ m/s}^2$  consumindo 12 m de canal para a máxima velocidade usada em molinetes (6,00 m/s). Com 40 m disponíveis para realização das medidas em velocidade uniforme, restando 8 m para o sistema de parada de segurança.

Figura 5 - Vista do Canal de Calibração em sua extensão total de 60,00 m no Pavilhão Marítimo do IPH/UFRGS



O primeiro sistema de aquisição de dados foi desenvolvido no próprio IPH e realizava a transmissão para o computador por meio de cabos, que por terem que se movimentar junto com o carro causavam ruído no sinal transmitido. Este problema foi sanado com a viabilidade de

implementar a transmissão digital sem fio e que, juntamente com a aquisição da velocidade por meio de sensor ótico, permitiu melhorar a qualidade dos dados adquiridos (Figura 6, direita).

Com essa estrutura instalada o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS figura como o maior prestador de serviços de calibração de instrumentos de medida de velocidade (tais como molinetes, correntômetros e outros) continuamente para todo o país, sendo o total de calibrações executadas até o momento de mais de 1300 para diversas empresas que prestam serviço de hidrometria, sendo o principal cliente a CPRM. Figura 6 – Esquerda: Motorização e conjunto de polias e cingal tracionadoras. Direita: Vista do carro sobre trilhos e unidade de transmissão de dados



## EVIDÊNCIAS DE QUE OS MOLINETES AINDA SÃO UTILIZADOS

As previsões de que o uso de molinetes hidrométricos entraria em franco declínio com a entrada dos equipamentos acústicos no mercado brasileiro estão presentes em muitos trabalhos a respeito destes equipamentos, principalmente nos trabalhos pioneiros no tema.

Apesar dos equipamentos acústicos serem os principais instrumentos utilizados, ainda há significativo uso de molinetes hidrométricos, que comparado aos equipamentos acústicos têm menor custo, possui fabricantes e laboratório para calibração em território nacional, os reparos e manutenção não dependem de estruturas específicas, sua utilização é mais intuitiva, não dependem de configurações e escolha de parâmetros que influenciam no resultado da medição e são utilizados (desde o final do Século XVI) com confiabilidade, de modo que ainda é percebida a sua utilização por equipes de hidrometria, inclusive da CPRM.

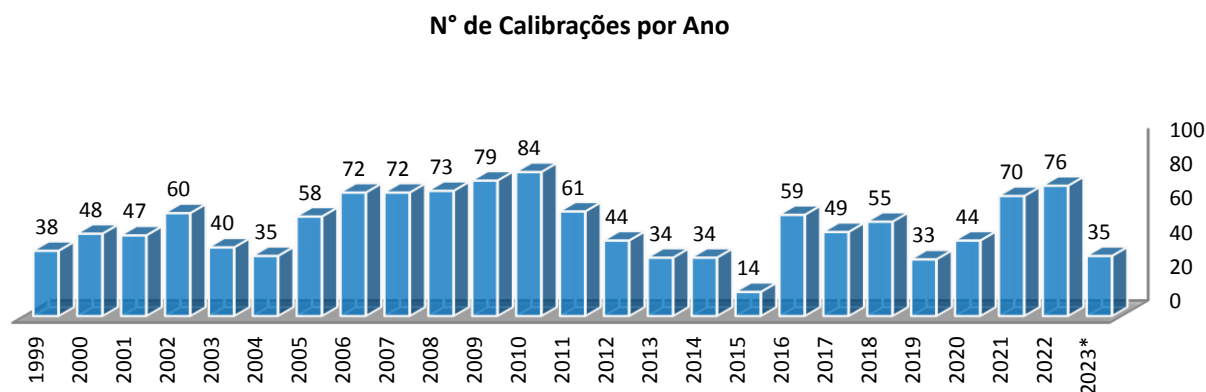
Assim, para investigar o comportamento do emprego de molinetes hidrométricos no Brasil ao longo do tempo, foi tomado como indicador a série histórica de calibrações por ano realizadas no canal de velocidades do IPH/UFRGS. Assume-se hipótese de que tendência no número de calibrações seja indicador da queda ou aumento do uso de molinetes. Na Figura 7 é apresentada a série histórica das calibrações, sendo que o total para o ano de 2023 é apenas até o mês de maio não sendo utilizada na análise de tendência.

O ajuste linear não apresentou informação utilizável para análise de tendência, visto que a série tem correlação quase nula com o tempo, assim foi aplicado o teste não-paramétrico de estacionariedade de Spearman para verificação da significância da tendência, conforme descrito por CPRM(2007) apud. NERC(1975).

O teste de estacionariedade de Spearman pode ser aplicado em séries temporais e em essência detecta a tendência de uma série temporal pela correlação entre a série e o índice de tempo, cuja base é o coeficiente de correlação entre as ordens de classificação  $m_t$  da sequência  $X_t$  e os índices de tempo  $T_t$ , esses iguais a 1, 2, ...,  $N$ .



Figura 7 – Série histórica do número de calibrações realizadas no Canal de Velocidades do IPH/UFRGS



A estatística do teste de Spearman tem, como base, o seguinte coeficiente:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N (m_i - T_i)^2}{N^3 - N} \quad (2)$$

Para  $N > 10$  e sob a hipótese nula de que não há correlação entre  $m_i$  e  $T_i$ , demonstra-se que a distribuição de  $r_s$  pode ser aproximada por uma Normal de média igual a zero e variância dada por

$$\text{Var}[r_s] = \frac{1}{N-1} \quad (3)$$

Portanto, se a hipótese nula é  $H_0$ : (a amostra não apresenta tendência temporal), a estatística do teste não-paramétrico de Spearman pode ser formulada como

$$T = \frac{r_s}{\sqrt{\text{Var}[r_s]}} \quad (4)$$

a qual segue uma distribuição Normal padrão. Por tratar-se de um teste bilateral, a um nível de significância  $\alpha$  a decisão deve ser a de rejeitar a hipótese nula se

$$|T| > z_{1-\alpha/2} \quad (6)$$

Para série de dados foram obtidos os seguintes resultados:

$$r_s = -0,01478; \text{Var}[r_s] = 0,043478; T = -0,07089; Z = 1,95996 \text{ para } \alpha \text{ de } 95\%$$

Para que houvesse tendência no número de calibrações entre 1999 e 2022, o valor de  $T$  deveria ser maior que  $Z$ , o que não foi. Conclui-se assim, que há estacionariedade, indicando que o uso do molinete hidrométrico é equivalente ao longo de todo o período analisado, e com hipótese de ser este um indicador adequado para representar o grau de utilização de molinetes hidrométricos.

## CONCLUSÕES

O molinete hidrométrico tem um longo histórico de uso, mas varias previsões indicavam que cairia em desuso devido aos surgimento dos equipamentos acústicos. No entanto ainda têm sido utilizados, por diversos motivos, como custo e simplicidade de reparo e manutenção, porém o aspecto mais importante é que ele segue sendo um instrumento de referência para intercomparação de resultados, assim pode-se dizer que o molinete ainda não foi “aposentado” no Brasil.

## REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Água e Saneamento Básico, Mediação de Descarga Líquida em Grandes Rios: manual técnico. – Brasília: ANA; SGH, 2009. 88 p. ISBN: 978-85-79629-34-8

- Boiten, 2003, Hydrometry, A.A. Balkema Publishers (Taylor & Francis e-Library, ISBN 0-203-97109-4 Master e-book, ISBN 90 5410 423 6 (paperback edition)
- Carvalho, M. S. – Investigações sobre um Perfilador Acústico (ADCP) de Faixa-Larga – Dissertação Programa de Pós-Graduação de Engenharia da UFRJ - 1999
- Naghattini M., Pinto, E.J.A. - Hidrologia estatística. CPRM, 2007. ISBN 978-85-7499-023-1
- Gamaro, P. E., Medidores acústicos Doppler de vazão - Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 164 p. 2012. ISBN: 978-85-85263-07-2
- Frazier, Arthur H. 1974. "Water Current Meters in the Smithsonian Collections of the National Museum of History and Technology." Smithsonian Studies in History and Technology, (28) 1–95. <https://doi.org/10.5479/si.00810258.28.1>.
- Hayes, J., Davidson, A., Boyton, R., Malone, D. - Old and New, ADCP VS Current Meter - AHA 2012 Conference, Melbourne
- ISO – International Standard Organization, ISO 2537:2021 - Hydrometry — Rotating-element currentmeters. 2007
- ISO – International Standard Organization, ISO 3455:2021 - Hydrometry — Calibration of currentmeters in straight open tanks. 2021
- McMillan, H., Krueger, T., & Freer, J. (2012). Benchmarking observational uncertainties for hydrology: rainfall, river discharge and water quality. *Hydrological Processes*, 26(26), 4078-4111.
- Menn, M. L., Morvan, S. - Velocity Calibration of Doppler Current Profiler Transducers - *Journal of Marine Science and Engineering* g. 2020. doi:10.3390/jmse8110847
- Motta, B. G., Determinação do limite de aplicação entre os métodos dinâmico e estacionário em medições de vazão utilizando ADCP - Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia / Breno Guerreiro da Motta. - 2016.
- Oberg, K.A., Mueller D.S., “Validation of streamflow measurements made with acoustic Doppler current profilers”, *J. of Hydraul. Eng.*, 133(12), 2007, pp1421-1432.
- SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. Hidrometria aplicada. Instit. de Tec. para o Desenvolvimento, LACTEC, 2001.
- Santos, C. I., Chaffe, P. L. B., Perez, A. B. A., Arienti, P. F., Sá, J. H. M.-- Precision and accuracy of streamflow measurements in headwater streams during baseflow - *Brazilian Journal of Water Resources*, RBRH, Porto Alegre, v. 26, e8, 2021.
- STAUBLI, T. (1988) “Propeller-type current meters”, in *Discharge and Velocity Measurements: Proceedings of a short course*, Zürich, Org. Mueller, A., (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003211440>
- Reinhard Woltman, *Theorie und Gebrauch des hydrometrischen Flugels* (Hamburg, 1790).
- WMO Commission for Observation, Infrastructure and Information Systems Abridged Final Report of the Second Session – WMO N° 1306 - Geneva 24–28 October 2022
- Vidal, D. H. F., Souza, R. B. - Uma Análise dos Erros na Medição de Vazão Com Molinete Fluviométrico - XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2009

**AGRADECIMENTOS** a todos servidores técnicos, estagiários, e professores que atuaram em algum momento na construção do canal de calibração e/ou realizaram calibrações, em especial ao Prof. Paulo Kroeff, que ao contrário do molinete hidrométrico, está aposentado!