

Revisão de métodos para o monitoramento de vazões



**MOSAICO
DE ÁGUAS**

20
23

Responsável: Thiago Carlos Lopes Ribeiro

v.RevMetMonitVaz_202309_1



Revisão de Métodos de Monitoramento de Vazões



Responsável: Thiago Carlos Lopes Ribeiro

v.RevMetMonitVaz_202309_1

Revisão de Métodos de Monitoramento de Vazões

Este documento apresenta uma revisão não exaustiva e não sistemática sobre métodos de monitoramento de vazões. Foi realizada com a intenção de elucidar as diferentes formas para superar os desafios encontrados para a execução do monitoramento de vazões nos pontos de monitoramento propostos pelo Projeto Mosaico de Águas no contexto do financiamento da Fundação Grupo Boticário.

Sumário

1. Desafios para a realização do monitoramento de vazões do Projeto Mosaico de águas.....	5
2. Metodologia.....	5
3. Resultados e discussões.....	6
3.1. Métodos de medições de vazões.....	7
3.1.1. Métodos diretos.....	7
3.1.2. Métodos de área-velocidade.....	8
3.1.2.6. Método eletromagnético.....	16
3.1.3. Métodos de constrições.....	17
3.1.4. Métodos de mensuração sem contato.....	18
3.1.5. Outros métodos.....	19
3.2. Indicações de usos dos métodos para otenções de vazões de acordo com Dobryial et al. (2017) e Iukhono; Buzmakov; Zorina (2021).....	20
4. Conclusão.....	21
5. Referencias Bibliográficas.....	23

Lista de Figuras

Figura 1 : Abordagem de meia seção para cálculo das vazões. Adaptado de Hershy, 2009.	13
Figura 2 : Abordagem de seção média para o cálculo de vazões. Adaptado de Hershy, 2009.	14

Lista de Tabelas

Tabela 1 : Distribuição de medições ao longo das verticais conforme a profundidade.....	15
Tabela 2 : Indicação de métodos de monitoramento de vazão de acordo com tamanho dos rios e tipo de terreno.	20

1. Desafios para a realização do monitoramento de vazões do Projeto Mosaico de águas.

Durante as atividades de reconhecimento (Campo 0 - junho de 2023) e primeiras medições (Campo 1/6 - julho de 2023) destacaram-se como desafios para realização do monitoramento de vazões a dificuldade de identificação de seções ideais para a realização dos trabalhos. Duas características chamam a atenção nas regiões onde foram definidos os pontos de monitoramento: 1. a grande quantidade de rochas no leito dos rios, o que pode conferir turbulências aos fluxos e 2. a baixa velocidade do fluxo (por vezes inferiores a detecção garantida pelo fabricante do molinete - $0.205 \text{ m}^3/\text{s}$).

Encontra-se na literatura diversos métodos para o monitoramento de vazões. Cada método apresenta vantagens e desvantagens a depender das características dos corpos hídricos, dificuldade de realização e custo, dentre outros fatores.

Neste trabalho buscou-se, embora de maneira não exaustiva e não sistemática, realizar uma revisão dos métodos utilizados para o monitoramento de vazões a fim de ampliar as perspectivas para superação dos desafios relacionados as medições em condições como as encontradas no projeto.

2. Metodologia

Foram realizadas buscas pelos termos *streamflow*, *measuring*, *monitoring*, *discharge* nas plataformas “Scopus” e “Scinapse”, além de pesquisas por meio de mecanismos de busca na internet (Google e Duckduckgo). Foram preferencialmente selecionados trabalhos de revisão e aqueles que abordaram múltiplos métodos.

O objetivo da revisão foi realizar um levantamento de métodos utilizados para o monitoramento de vazões, bem como identificar aqueles mais adequados para o

monitoramento de rios em regiões montanhosas, no entanto enfatiza-se que não se trata de uma revisão exaustiva e sistemática. Como a proposta de monitoramento realizada pelo Projeto Mosaico de Águas visa realizar o monitoramento utilizando molinete e durante as reuniões da equipe do projeto, foram cogitadas a utilização dos métodos do flutuador e da diluição, dada as características dos corpos d'água nos pontos de monitoramento propostos, especial atenção foi dedicada a estes métodos.

3. Resultados e discussões

Foram relevantes nesta revisão os trabalhos:

- Iukhno; Buzmakov; Zorina (2021): em seu artigo buscaram desenvolver uma classificação baseada na aplicabilidade dos métodos (considerando escala morfológica, condições de mensuração, fator logístico e precisão);
- Dobryial et al. (2017): em seu artigo buscaram classificar os métodos quanto aos componentes ambientais dos locais a serem monitorados e a sustentabilidade do monitoramento (considerando facilidade operacional, custo efetividade, precisão, tempo efetividade e impacto no ambiente);
- Gore; Banning (2017): capítulo de livro tratando da mensuração e análises de vazões em rios;
- Whiting (2016): capítulo de livro tratando da caracterização e mensuração das vazões dos rios e;
- Hershy (2009): trata-se de um livro sobre o monitoramento de vazões em rios.

Os métodos de monitoramento de vazão podem ser agrupados em (DOBRYIAL et al. 2017):

- Métodos de medidas diretas: medem diretamente o volume de água em um determinado período de tempo;
- Métodos de Área-Velocidade: obtêm a vazão pela multiplicação da velocidade do fluxo de água (podendo ser obtida por diferentes técnicas) pela área da seção transversal;
- Métodos de constrição de fluxo: são utilizadas constrições no fluxo de água para obtenção da vazão e;
- Métodos de medições sem contato: obtêm a vazão sem a necessidade de contato com os corpos d'água.

No item 3.1 são resumidos os métodos de monitoramento de vazão conforme o agrupamento exposto acima.

3.1. Métodos de medições de vazões

3.1.1. Métodos diretos

3.1.1.1. Método volumétrico

Este método consiste em captar toda a água que flui em um corpo hídrico e cronometrar o tempo necessário para o preenchimento de um determinado volume. A vazão é dada então pela razão entre o volume captado e o tempo necessário para seu preenchimento (DOBRYIAL et al., 2017).

Gore; Banning (2017) recomendam o uso de um recipiente graduado ou com volume conhecido de pelo menos 4 litros para rios de 2ª ou 3ª ordem. Apresentam ainda a alternativa do uso de sacolas plásticas reforçadas para captação de água. Os autores recomendam também que as coletas devam levar pelo menos 3 segundos.

O método volumétrico pode ser aplicado por pesagem. Neste caso, após pesagem (tomando-se o cuidado de descontar o peso do recipiente) o volume é obtido por $V = \frac{W}{w}$, onde W é o peso medido e w é o peso específico da água (1 kg/m^3) (RANTZ et al., 1983). O método volumétrico é considerado um dos métodos mais precisos e com menores erros (DOBRYIAL et al., 2017; WHITING, 2016; HERSHEY, 2009; RANTZ et al., 1983), porém sua aplicabilidade está restrita a pequenos rios.

3.1.2. Métodos de área-velocidade

A definição da seção a ser utilizada para obtenção das vazões é extremamente importante. Rantz et al. (1983) apresentam as seguintes características de uma seção ideal para estações de mensuração:

- A largura do rio é estreita num intervalo de +/- 100m a montante e a jusante da seção;
- O fluxo é confinado em um único canal e não extrapola as margens;
- O leito não está sujeito a erosão ou assoreamento;
- Existem controles naturais imutáveis na forma de afloramento rochosos para fluxos altos e baixos;
- Existe uma “reservatório” a montante para controlar fluxos extremamente baixos e assegurar leituras nas estiagens e evitar altas velocidades no período de cheias;
- O local é longe o suficiente de confluências com outros rios a fim de evitar influências ao longo do tempo;
- Nas proximidades há locais para possíveis alterações de seção (é comum que em períodos de estiagens e cheias as medições sejam realizadas em seções diferentes) e;
- Fácil acesso.

3.1.2.1. Método do flutuador

Neste método, um objeto pouco denso é lançado em um curso d'água e permiti-se que percorra uma distância conhecida, registrando então o tempo do deslocamento. Por meio da distância percorrida e o tempo necessário para que o objeto flutuador a percorra são estimadas as velocidades. De posse da velocidade e a área média das seções transversais percorridas as vazões são estimadas (HERSHEY et al., 2009).

São recomendados o lançamento de 5 a 10 flutuadores e um tempo de deslocamento superior a 20 segundos para a redução dos erros (DOBRYIAL et al., 2017, WHITING, 2016). Outra recomendação é de que a distância a ser percorrida pelos flutuadores seja 4 ou 5 vezes maiores que a largura do canal (HERSHEY, 2009).

Hershly (2009) explica que idealmente 3 seções devem ser demarcadas. Uma onde serão registrados o início dos deslocamento dos flutuadores, outra para registro do término do deslocamento e mais uma outra intermediária (entre as seções anteriores) para verificação das mensurações de velocidade e a posição dos flutuadores na seção, porém caso as condições do local não permitam a seção intermediária pode ser desconsiderada. As seções devem ser subdivididas em 4 ou mais subseções e os flutuadores devem ser posicionados a uma pequena distância da seção mais a montante (para que o flutuador ganhe velocidade) e a distância com relação a margem devem ser marcadas no flutuador a fim de que cada grupo de flutuador representem uma subseção. Os tempos devem ser registrados quando os flutuadores cruzarem as seções intermediária e final e as distâncias da margem estimadas (HERSHY, 2009).

A velocidade é dada pela divisão da distância percorrida pelo tempo de deslocamento. Como a velocidade varia com a profundidade, para a obtenção da velocidade média são utilizados coeficientes que variam de acordo com a rugosidade do leito. Valores entre 0.8 e 0.9 são frequentemente utilizados (GORE; BANNING, 2017), porém também podem ser

obtidos por meio das equações de Manning e equação de Chezy (HERSHY, 2009). As vazões nas subseções são obtidas pela multiplicação da área da subseção pela velocidade nelas registradas. As vazões em cada subseção são então somadas para obtenção da vazão na seção (HERSHY, 2009).

Dobryial et al. (2017) recomenda para rios pequenos e retilíneos com baixo fluxo e ressalta que é questionável sua aplicação para rios mais volumosos. Por sua vez Whiting (2016) afirma que o uso deste método é recomendado se outras técnicas forem inapropriadas, por questões de segurança ou indisponibilidade de outras técnicas, já que outros métodos apresentam melhor precisão (precisão do método do flutuador é de +/-10-20%).

3.1.2.2. Método da diluição

No método da diluição a vazão é obtida por meio da difusão de um traçador químico no fluxo de água (comumente NaCl, fluorescente ou radioativo). A vazão é estimada por meio da concentração do traçador medida a uma certa distância de onde a injeção do um traçador é realizada. Esta distância é determinada pelas condições de mistura do curso d'água e deve ser a menor possível, planejada de modo que, entre as seções de injeção e mensuração, ocorram a mistura completa do traçador ao fluxo do curso d'água. É comum o uso do traçador fluorescente para identificar o ponto de a mistura completa (HERSHY, 2009).

Duas estratégias podem ser utilizadas para a injeção do traçador: injeção contínua ou injeção repentina. Na primeira, a injeção do traçador deve ocorrer de maneira constante durante um dado intervalo de tempo, o que faz necessário a utilização de equipamentos sofisticados para injeção. Na segunda, a injeção do traçador é realizada simplesmente pelo esvaziamento de um frasco contendo o traçador (HERSHY, 2009).

Como resultado da injeção contínua de traçadores, na seção de mensuração é possível observar a elevação, manutenção (platô) e declínio da concentração do traçador. No caso da

injeção repentina, observa-se apenas a elevação repentina, atingimento do pico e decaimento da concentração do traçador (HERSHEY, 2009). As vazões são obtidas pelas Equação 1 e Equação 2 (WHITING, 2016, HERSHEY, 2009), respectivamente para cada estratégia:

$$Q = \frac{C_1}{C_2} \cdot q \quad (1)$$

$$Q = \frac{V}{T} \cdot \frac{C_1}{\bar{C}_2} \quad (2)$$

Onde C_1 é a concentração da solução do traçador, C_2 é a concentração medida na seção de mensuração, q é a vazão de injeção da solução do traçador, \bar{C}_2 é a concentração média no tempo da passagem do traçador, T é o tempo de passagem do traçador e V é o volume inicial do traçador.

O local da utilização do método deve proporcionar a mistura completa da solução do traçador no fluxo de água, devendo a distância dos locais da injeção e da mensuração ser a menor possível, por isso os corpos d'água devem ser o mais estreito e turbulento possível, sem influências de zonas mortas (HERSHEY, 2009). Erros devido a misturas incompletas podem ocorrer e treinamento é necessário para aplicação do método em campo (DOBRYIAL et al., 2017).

O método da diluição é frequentemente utilizado em condições de fluxos turbulentos onde os demais métodos são complexos de serem aplicados. Por outro lado, podem encontrar resistências para o uso devido a necessidade de injeção de traçadores, impedindo a sua utilização (DOBRYIAL et al., 2017).

3.1.2.3. Método da trajetória

No método da trajetória todo o fluxo de água é desviado para um cano. A vazão é estimada por meio do jato de água a partir deste cano. A precisão do método é razoável,

porém só pode ser aplicado onde todo o fluxo pode ser desviado. Este método necessita de treinamento e envolve cálculos complexos (DOBRYIAL et al., 2017).

3.1.2.4. Mensuração de corrente

O método de mensuração de correntes envolve a mensuração das velocidades dos fluxos em vários pontos em uma seção transversal. Diferentes equipamentos podem ser utilizados para realizar as medições de velocidade, como por exemplo, o molinete (medidor mecânico de corrente); o medidor de velocidade acústico (Acoustic Doppler Velocimeter - ADV) e o eletromagnético (WHITING, 2016).

No caso do molinete (medidor mecânico de correntes) as velocidades são obtidas pela razão entre a rotação de uma hélice (medidor com eixo axial horizontal) em um intervalo de tempo pré-determinado. Já o ADV emite um sinal sonoro e mede o sinal refletido pelas partículas suspensas na água e pelas diferenças de frequências são obtidas as velocidades. Por último, o eletromagnético faz uso do princípio de Faraday de que uma tensão elétrica é produzida quando um condutor (água) se move por um campo eletromagnético, nessa situação, gerado por uma sonda. Então, eletrodos na superfície da sonda medem a tensão, que é proporcional à velocidade. Apesar de utilizarem diferentes princípios físicos, os procedimentos para realização das medições de velocidade são os mesmos (WHITING, 2016). As medições podem ainda ser realizadas a vácuo, embarcado ou sobre pontes, porém os equipamentos são adaptados a essas condições (HERSHEY, 2009).

Para obtenção da vazão pelo método de mensuração de corrente a seção transversal é dividida em subseções pelo posicionamento de verticais, onde as medições de velocidade acontecem. Por meio da velocidade média e a área da subseção são estimadas as vazões na subseção. A soma das vazões nas subseções resulta na vazão do corpo hídrico (GORE; BANNING, 2017; WHITING, 2016; HERSHEY, 2009).

Duas abordagens podem ser utilizadas para os cálculos das vazões: meia seção ou seção média. No caso da meia seção, considera-se que as verticais estão posicionadas no meio da subseção e esta é delimitada, para ambos os lados, pela metade da distância entre as verticais, conforme Figura 1. Já no caso da seção média, a subseção é delimitada por duas verticais. Aqui, para o cálculo das vazões na subseção são realizadas as médias das velocidades médias e profundidades nas verticais, conforme Figura 2.

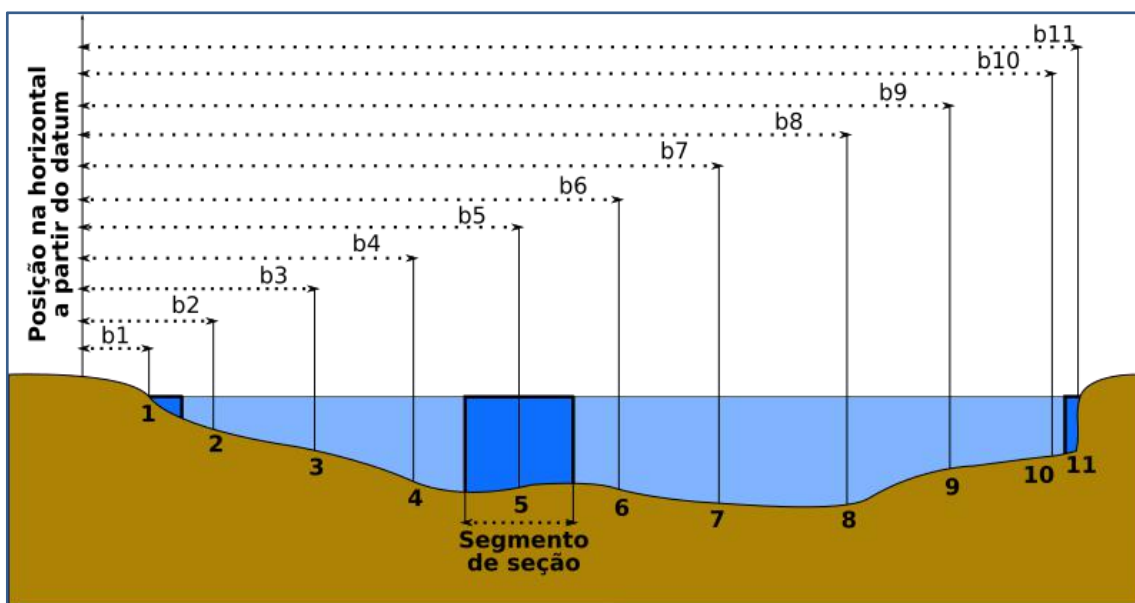


Figura 1: Abordagem de meia seção para cálculo das vazões. Adaptado de Hershy, 2009.

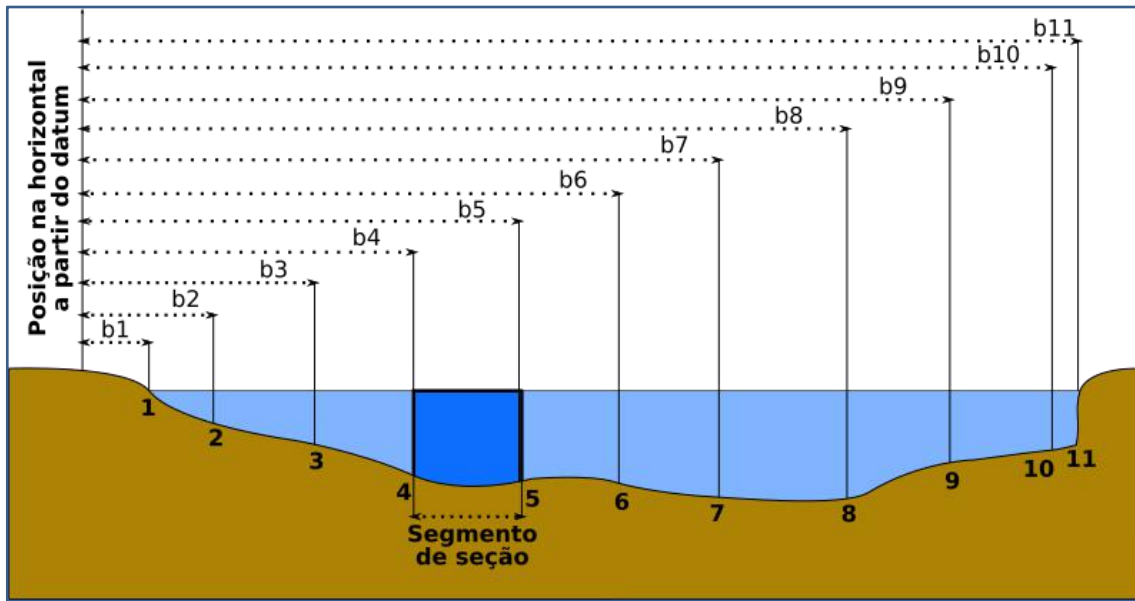


Figura 2: Abordagem de seção média para o cálculo de vazões. Adaptado de Hershey, 2009.

As vazões nas subseções para cada abordagem são obtidas conforme Equação 3 e Equação 4, respectivamente (HERSHEY, 2009).

$$Q_x = \bar{v}_x \left[\frac{b_{x+1} - b_{x-1}}{2} \right] \cdot d_x \quad (3)$$

$$q_{x,x+1} = \left(\frac{\bar{v}_x + \bar{v}_{x+1}}{2} \right) \cdot \left(\frac{d_x + d_{x+1}}{2} \right) \cdot (b_x - b_{x+1}) \quad (4)$$

Vale destacar que na abordagem de meia seção há a necessidade de estimar também as vazões próximas às margens (destacadas em azul escuro na Figura 1). No caso da vertical 1, como a profundidade é 0 (zero), q_1 também é será. Porém, diferente da vertical 1, na vertical 11 o ponto de encontro entre o canal e a margem é abrupto (vertical) e a profundidade é diferente de 0 (zero). Neste caso a velocidade se mede o mais próximo possível da margem e utiliza-se a 5.

$$Q_x = \bar{v}_x \left[\frac{b_{x+1} - b_x}{2} \right] \cdot d_x \quad (5)$$

Como a velocidade varia com a profundidade, a velocidade média na vertical pode ser obtida com uma ou mais medições em diferentes profundidades a depender da curvatura do

perfil da velocidade. Carvalho (2008) recomenda a distribuição de mensurações na vertical de acordo com a Tabela 2, porém outras distribuições podem ser possíveis, principalmente quando as condições de rugosidade do leito são muito elevadas em comparação com a profundidade e o perfil de velocidade pode não ser típico. Nestes casos uma alternativa possível é realizar as medições em intervalos de $0,1 P$ e realizar a média (WITHING, 2016). Na Tabela 2, as equações das velocidades médias nas verticais apresentada segundo Hershy (2009).

Tabela 1: Distribuição de medições ao longo das verticais conforme a profundidade.

Profundidades (m)	Número de pontos	Pontos dos pontos (m)	Velocidade média
0,15 - 0,60	1	0,6P	$V_{0,6P}$
0,6 - 1,20	2	0,2P e 0,8P	$(V_{0,2P} + V_{0,8P}) \cdot 0,5$
1,20 - 2,00	3	0,2P; 0,6P; 0,8P	$(V_{0,2P} + 2 \cdot V_{0,6P} + V_{0,8P}) \cdot 0,25$
2,00 - 4,00	4	0,2P; 0,4P; 0,6P e 0,8P	**
*	5	Superfície (s); 0,2P; 0,6P; 0,8P e fundo (f)	$(V_s + 3 \cdot V_{0,2P} + 3 \cdot V_{0,6P} + 2 \cdot V_{0,8P} + V_f) \cdot 0,1$
> 4,00	6	Superfície (s); 0,2P; 0,4P; 0,6P; 0,8P e fundo (f)	$(V_s + 2 \cdot V_{0,2P} + 2 \cdot V_{0,6P} + 2 \cdot V_{0,6P} + 2 \cdot V_{0,8P} + V_f) \cdot 0,1$

*: sem recomendações de Carvalho (2008);

** : sem recomendações de Hershy (2009).

Hershy (2009) recomenda o uso de 20 a 30 verticais, com exceção dos cursos d'água muito estreitos onde tais quantidades de verticais sejam impraticáveis. O espaçamento entre as seções podem ser realizados de modo equidistantes, de modo que os segmentos fiquem com fluxos iguais ou de acordo com perfil do leito (de modo que o espaçamento seja menor conforme as profundidades e velocidades aumentem). Independente do critério para espaçamento, é recomendado arranjar a distribuição das verticais de modo que nas subseções não existam vazões superiores a 10% da vazão total do curso d'água (alguns mais criteriosos utilizam 5%). Whiting (2016) recomenda que a mensuração de velocidade deva ser realizada durante pelo menos 30s.

O método é considerado preciso e tempo efetivo, porém sua aplicação é considerada cara e podem ser aplicadas apenas durante curtos intervalos de tempo (DOBRYIAL et al., 2017). Este método é adequado para regiões montanhosas, porém rochas presentes no leito do rio reduzem a precisão do método (IUKHNO; BUZMAKOV; ZORINA, 2021, DOBRYIAL et al., 2017, WHITING, 2016).

3.1.2.5. Método *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP)

Já o método *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) realiza as medições por meio da emissão de sinais sonoros na água, medindo então o retorno do sinal (eco) causado pelas partículas presentes na água (DOBRYIAL et al., 2017). Dois tipos de ADCP podem ser encontrados, aqueles que realizam a mensuração da velocidade por meio da diferença de frequência entre o sinal emitido e recebido (doppler) ou aqueles que utilizam o tempo de viagem (IUKHNO; BUZMAKOV; ZORINA, 2021). Frequentemente os equipamentos são instalados em barcos ou navios, os quais têm suas velocidades de deslocamento desconsideradas, no entanto estações estacionárias também são utilizadas (IUKHNO; BUZMAKOV; ZORINA, 2021). Duas abordagens são utilizadas: banda estreita e banda larga. As medições são rápidas e precisas, consistindo em um método preciso, porém caro, necessitando ainda de equipe treinada. Recomendada para grandes rios em terreno plano (DOBRYIAL et al., 2017).

3.1.2.6. Método eletromagnético

Utilizando o princípio de Faraday, semelhante ao medidor de corrente eletromagnético descrito no item 3.1.2.4. Apesar de ser possível o uso do campo eletromagnético da Terra para realizar as mensurações de velocidade, interferências elétricas podem gerar problemas. Normalmente, uma bobina é enterrada no leito e utilizada para produzir o campo magnético

(pela passagem de uma corrente elétrica) (WHITING, 2016). Eletrodos em cada lado do rio podem então detectar a tensão elétrica, sendo esta proporcional a velocidade média do fluxo que cruza a seção (DOBRYIAL et al., 2017). Este método produz resultados precisos, porém necessita de treinamento. Tem custo relativamente alto para instalação (WHITING, 2016).

3.1.3. Métodos de constrições

3.1.3.1. Método do vertedouro

O método do vertedouro consiste na construção de uma barragem (de madeira compensada, outras placas de madeira, metal ou ainda de concreto) (DOBRYIAL et al., 2017) com saída controlada por um vertedouro. Estes métodos são classificados geralmente de acordo com o vertedouro (largo ou afinado e podem ter diferentes formas (retangular, trapezoidal ou em V - diferentes ângulos) (WHITING, 2016). Os vertedouros largos podem ser utilizados apenas para mensuração de fluxo instantâneo. Os vertedouros mais finos são mais propensos ao entupimento, porém são mais precisos (WHITING, 2016). As vazões são estimadas de acordo com tabelas ou equações definidas para vertedouro, as quais considera o quociente de vazão, altura da água em relação ao vertedor e largura da do vertedor (DOBRYIAL et al., 2017). Este método necessita de trabalhadores habilidosos e uma queda considerável a jusante e montante da barragem. Frequentemente é necessário a construção de uma piscina ou reservatório a montante da constrição, o que diminui consideravelmente a velocidade da água. A utilização deste método consome tempo, é caro e altera habitats locais. Medições de vazão pré-instalação dos vertedouros são necessárias (DOBRYIAL et al., 2017). O dimensionamento do vertedouro deve considerar a variação dos fluxos naturais. Os métodos de vertedouros são um dos métodos mais precisos, porém o assoreamento afeta a confiabilidade dos resultados. Hershey (2009) sugere que a precisão deste método é de 3%.

3.1.3.2. Método da Calha

O método da calha consiste na construção de um canal aberto artificial que restringe a área da seção transversal e altera a declividade do leito, o que aumenta a velocidade e altera o volume de água fluindo através da calha (DOBRYIAL et al., 2017). Este método tem sido utilizado para as medições de vazão onde a relação nível-vazão está propensa a mudanças devido a erosão ou assoreamento e onde o rio é suficientemente pequeno de modo que o uso de outros métodos seja impraticável (WHITING, 2016).

A vazão é obtida por meio da altura da água fluindo na calha. Diferentes calhas são utilizadas para medir fluxos intermitentes, água de irrigação e fluxos com detritos. Quando adequadamente construídos e instalados proporcionam resultados precisos e não necessitam de calibração, mas a precisão é afetada pela velocidade do líquido e assoreamento. Este método não é indicado para rios com grande quantidade de detritos, sedimentos e sólidos. O método da calha não é prático, exceto para pequenos rios e são mais limitados que os vertedouros, além possuírem construção mais complicada (DOBRYIAL et al., 2017).

3.1.4. Métodos de mensuração sem contato

Em locais de difícil acesso são recomendados métodos de mensuração sem contato. São baseados no princípio de sistemas de radar e podem ser utilizados para fazer medições contínuas e em tempo real durante fluxos médios e grandes

3.1.4.1. Sensoriamento remoto.

Para as estimativas de vazões utilizando sensoriamento remoto é necessário a construção de curvas empíricas que correlacionam área da superfície hídrica com as descargas. Três abordagens podem ser utilizadas: medições diretas do nível d'água, determinação da elevação das águas no ponto de contato entre a superfície terrestre utilizando dados de alta

resolução de satélites e topográficos e correlação de áreas da superfície hídrica derivadas de dados de satélite com medições em terra de nível ou descarga. Embora a cobertura de satélites possam propiciar a obtenção de dados hidrológicos críticos impossíveis de se obter devido a restrições logísticas e econômicas, estes métodos são caros e não podem estimar as descargas diretamente e estão sujeitas a erros devido à cobertura de árvores ou macrófitas. O método pode ser utilizado tanto em terrenos planos ou montanhosos, mas apenas em grandes rios (DOBRYIAL et al., 2017).

3.1.5. Outros métodos

3.1.5.1. Método Área-Declividade

Na falta de técnicas ou disponibilidade para a obtenção das vazões, para determinação da magnitude de um evento (por exemplo por meio de marcas de lama ou depósito de sedimentos) ou ainda por questões de segurança, métodos indiretos podem ser utilizados (WITHING, 2016). Um método comum para as estimativas de vazão é o método Área-Declividade. Nos métodos de Área-Declividade equações de resistência como as equações de Mannig (Equação 6) e Chezy (Equação 7) são comumente utilizadas (WHITING, 2016).

$$Q = \frac{A.R^{2/3}.S^{1/2}}{n} \quad (6)$$

$$Q = c.A.(R.S)^{1/2} \quad (7)$$

Onde Q é a vazão, A é a área da seção, R é o raio hidráulico, S é a declividade, n é o fator rugosidade e c o fator de transporte.

Ambas Equação 6 e Equação 7 foram desenvolvidas para para condições de fluxo estável, nos quais superfície hídrica, declividade e o gradiente de energia são paralelos ao leito do rio e devido a melhores soluções são utilizadas para canais naturais, onde nem sempre se encontram estas características (HERSHY, 2009).

3.2. Indicações de usos dos métodos para obtenções de vazões de acordo com Dobryial et al. (2017) e Iukhono; Buzmakov; Zorina (2021)

Dobryial et al. (2017) ressalta que os métodos devem ser apropriados de acordo com os objetivos do estudo, recursos e especialidade disponível, tamanho dos rios e tipo de terreno. No entanto, trazem as seguintes recomendações de acordo com contexto (volume a do curso d'água e tipo de terreno):

- Método volumétrico para rios pequenos em regiões montanhosas;
- Método do vertedouro ou da calha para rios com grande volume de água em regiões montanhosas;
- Método do Flutuador para rios pequenos em regiões planas e;
- Método da diluição para rios maiores, em terrenos de qualquer contexto.

Dobriyal et al., 2017 também apresentam a aplicabilidade dos métodos de acordo as condições do terreno, conforme Tabela 3.

Tabela 2: Indicação de métodos de monitoramento de vazão de acordo com tamanho dos rios e tipo de terreno.

Métodos		Tamanho dos rios	Tipo do terreno
Método de medidas diretas	Método do volume cronometrado	Pequenos	Montanhosos
Métodos de área-velocidade	Método do flutuador	Pequenos	Planos
	Método da diluição	Grandes e Pequenos	Planos e montanhosos
	Método da trajetória	Pequenos	Planos e montanhosos
	Método de mensuração de correntes	Pequenos	*Planos/Montanhosos
	Perfilador de corrente por doppler acústico	Grandes	Planos
Formed constriction methods	Método do vertedouro	Grandes e Pequenos	Planos e montanhosos (mas apresenta melhores resultados para montanhosos)
	Método da calha	Grandes e Pequenos	Planos e montanhosos (mas apresenta melhores resultados para montanhosos)
Sem contato	Método de sensoriamento remoto	Grandes	Planos e montanhosos
	Método de velocimetria por imagem de partículas	Grandes	Planos

*: Embora no decorrer do artigo descreva o método de mensuração de correntes como aplicável para regiões montanhosas, no material suplementar a indicação é para terrenos planos.

Por sua vez, de acordo com Iukhno; Buzmakov; Zorina (2021), para rios pequenos (profundidades inferiores a 1,3 m - situações encontradas no Projeto Mosaico de Águas) em regiões montanhosas são recomendados os seguintes métodos/equipamento portáteis, considerando erros inferiores a 10%:

- Medidor correntes mecânico, eletromagnéticos e ultrassônicos;
- ADCP;
- Método Área-declividade em condições de insegurança;
- Método da diluição em condições de insegurança ou turbulência;
- Dispositivos eletrônicos operados por pressão em condições de turbulência.

Iukhno; Buzmakov; Zorina (2021) também indicam o uso do método dos flutuadores em condições de insegurança ou turbulência, porém é destacado a menor precisão.

Os trabalhos divergem quanto à recomendação dos métodos do vertedouros e da calha. Enquanto Iukhno; Buzmakov; Zorina (2021) indicam, ambos os métodos (portáteis), para rios muito pequenos, com profundidades inferiores a 0,05m (capacidade máxima de 50m³/s), Dobryial et al (2017) os recomendam para rios grandes e pequenos (portáteis e construídos), salientando que apesar dos recursos necessários para sua construção (intelectual e financeiro) os métodos podem operar por períodos mais longos.

4. Conclusão

De acordo com a revisão realizada, o método do molinete se encontra entre os métodos com maior precisão, porém é reduzida quando há presença de detritos e rochas no leito dos rios, alterando o perfil característico de velocidade com relação a profundidade. No entanto, a mensuração de mais pontos em uma mesma vertical pode contribuir para melhores resultados.

Dois outros métodos foram cogitados durante as reuniões com a equipe do Projeto Mosaico de Águas, o método do flutuador e o método de diluição. No que se refere ao método da diluição, apesar do método ser indicado para regiões montanhosas e turbulentas, maiores esforços são necessários para sua aplicação. Os trabalhos revisados sinalizam a necessidade de treinamento e equipamentos adequados para injeção e mensuração das concentrações dos traçadores. Reforçam também que devido a injeção dos traçadores, este método pode encontrar resistências. Considera-se então o método inaplicável no momento.

Com relação ao uso do método dos flutuadores, os trabalhos revisados indicam que este método encontra-se entre aqueles com menor precisão. Mesmo assim, o método é recomendado devido a facilidade de aplicação ou em casos de insegurança ou turbulência. São recomendados ainda o lançamento de pelo menos 4-10 flutuadores, lançados ao longo da seção transversal de modo que cada flutuador corresponda a uma subseção..

Outra questão levantada em reuniões com a equipe está relacionadas a segurança. Os trabalhos revisados apontam que, neste contexto, o método Área-Declividade pode ser empregado.

Um ponto importante a ser considerado para as futuras atividades de campo estão relacionadas ao tempo para a execução das atividades. A solução encontrada para melhorar os resultados obtidos pelo método do molinete consiste em aumentar a quantidade de pontos mensurados em cada vertical. Esta adição de pontos já eleva consideravelmente o tempo para a execução da atividade. Além disso, tendo em vista o tempo gasto durante as atividades do Campo 1/6 (Julho de 2023) é impraticável a realização de outro método em conjunto com o método do molinete no intervalo de tempo planejado para as atividades de campo.

5. Referencias Bibliográficas

DOBRYIAL, Pariva; BADOLA, Ruchi; TUBOI, Chongpi; HUSSAIN, Syed Ainul. A review of methods for monitoring streamflow for sustainable water resource management. **Applied Water Science**, v. 7, n. 6, p. 2617-2628, out, 2017.

GORE, James A.; BANNING, James. Discharge measurements and streamflow analysis. In: HAUER, F. Richard; LAMBERTI, Gary. **Methods in stream ecology**. [S.l.]: Elsevier Science, 2017. cap. 3.

HERSHY, Reginald W. **Stream Measurement**. 3. ed. Nova York: Taylor & Francis, 2009.

IUKHNO, Artem; BUZMAKOV, Sergei; ZORINA, Alisa. Water discharge measuring instruments: an up-to-date overview. In: PROCEEDINGS OF THE 13 TH INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE, 13., 2021, [S.l.]. Anais...[S.l.]: [s.n], 2021, p. 116-123.

RANTZ, S. E. et al. **Measurement and computation of stream**: Volume 1. Measurement of stage and discharge. 2.ed. Washington: USGS, 1983.

Whiting, Peter J. Flow measurement and characterization. In: Kondolf, Mathias; Piégay, Hervé. **Tools in fluvial geomorphology**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2016. cap. 12.