

## ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O MÉTODO DA DISPERSÃO SALINA E O USO DE MICROMOLINETE PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM PEQUENOS CÓRREGOS.

*Rodrigo Borges da Fonseca Bins<sup>1\*</sup>; Édina Thomé<sup>2</sup>; Georgia Sinski Amadio<sup>3</sup>; Luísa Heineck Neves<sup>4</sup>; Nicole Dalle Molle<sup>5</sup>; Marina Refatti Fagundes<sup>6</sup>; Fernando Mainardi Fan<sup>7</sup>*

**Resumo** – A não aplicabilidade e não representatividade dos valores obtidos nas medições de vazão realizadas em córregos de pequeno porte por instrumentos convencionais de medição (micromolinete) demonstram a necessidade da utilização de outros métodos mais aplicáveis para esse tipo de corpo hídrico. Córregos com baixa profundidade e pequena largura apresentam comportamento hídrico peculiar, não homogêneo em suas seções transversais, e, justamente por isso, necessitam de métodos alternativos ao uso de equipamentos como micromolinetes para medições de vazão, uma vez que o fluxo medidos pelos equipamentos não são representativos do comportamento hídrico global, além do fato da não aplicabilidade do uso de tais equipamentos e certas subseções, as quais não apresentam velocidades mínimas para vencer o próprio atrito estático do aparelho. O presente trabalho apresenta os resultados de um estudo comparativo entre as vazões de um corpo hídrico medidas em uma calha Parshall, por micromolinete e por método da pluma salina.

**Palavras-Chave** – Vazão; Pequenos Córregos; Pluma Salina

## COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN THE SALINE DISPERSION METHOD AND THE USE OF FLOW PROBE FOR FLOW RATE DETERMINATION IN SMALL STREAMS.

**Abstract** – The non applicability and non representativity of the values found in the flow measurements carried out in small-sized streams by conventional measurement instruments (flow probe) demonstrate the necessity of using other methods more applicable to this type of hydrous body. Streams of low depth and small width display an unusual hydric behaviour, not homogenous in its transversal sections, and, exactly for that, need alternative methods then the use of equipments such as flow probe to the measurement of flow, once the flux measured by the equipment are not representatives of the global hydric behaviour, besides the fact that the non applicability of the use of such equipments and certain subsections, which don't show the minimal velocities needed to overpower the static friction of the equipment. The present work shows the results of a comparative

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

<sup>2</sup> Graduanda em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

<sup>3</sup> Graduanda em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

<sup>4</sup> Graduanda em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

<sup>5</sup> Graduanda em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

<sup>6</sup> Graduanda em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

<sup>7</sup> Prof. Dr. Em Recursos Hídricos, Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

\*Autor Correspondente

study between the flows of a hydrous body measured in a Parshall flume, by flow probe and by method of saline dispersion.

**Keywords** – Flow; Small Streams; Saline Plume

## INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta a etapa única de um projeto de avaliação da atual metodologia de quantificação de vazões em córrego de água utilizado como corpo receptor de efluentes domésticos. O corpo hídrico em questão situa-se na serra gaúcha, onde há empreendimentos residenciais de luxo afastados dos centros urbanos.

O principal objetivo do presente trabalho é avaliar a instalação e a calibração de uma calha Parshall utilizada para medição de vazão do córrego existente no local e que está instalada à montante da onde são lançados os efluentes tratados pelo empreendimento. Para cumprir com esses objetivos, foram utilizadas metodologias indiretas de medição de vazões em pequenos córregos de água e comparados o método do traçador com dispersão de pluma salina com o uso de micromolinete. As coletas de dados foram realizadas sob diferentes condições meteorológicas e de vazão. As medições foram feitas em diferentes campanhas, sempre em específicos pontos de interesse e de controle ao longo do curso hídrico.

A seguir, são apresentados os materiais e métodos utilizados para o embasamento teórico do trabalho. Após, é apresentada a metodologia utilizada, bem como os resultados e as conclusões do projeto.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Calha Parshall

A calha Parshall é um dispositivo tradicionalmente usado para a medição de vazão em canais abertos. A determinação da vazão do escoamento com o uso de uma calha Parshall pode ser estabelecida pela seguinte equação:

$$Q = \lambda \cdot H_0^n \quad (1)$$

$Q$  é a vazão em metros cúbicos por segundo.

$H_0$  é a altura do nível de água no ponto 0 em metros.

$\lambda$  e  $n$  são coeficientes, tabelados, que dependem das dimensões da calha.

Sabendo que o tamanho da garganta da calha Parshall estudada é 6'' (15,2 cm), os seus coeficientes  $\lambda$  e  $n$  são respectivamente 0,381 e 1,580 (NETO et al, 1998).

### Método do traçador

O método do traçador consiste na injeção instantânea de uma massa conhecida de algum elemento traçador no curso de água em estudo. No presente estudo, foi utilizado o sal de cozinha refinado (NaCl) por apresentar propriedades essenciais para elementos traçadores, como se dissolver completamente nos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  quando colocado em água, apresentar grande

solubilidade na água, ter presença nula ou em concentrações traço no ambiente natural, e não possuir impactos significativos no ambiente aquático (AYRES, 2001).

Essa injeção faz com que a condutividade da água varie substancialmente, podendo então sua dispersão ser quantificada através da medição da condutividade da água em pontos à jusante de onde o elemento foi injetado com o auxílio de um aparelho denominado condutivímetro, que registra a passagem da nuvem do traçador. Registrando o tempo de deslocamento da pluma salina e a distância que existe entre o ponto da injeção e o ponto da medição é possível calcular a velocidade do fluxo de água. Finalmente, para a determinação da vazão do rio, utiliza-se a seguinte equação:

$$Q = v * A \quad (2)$$

Onde:

Q é a vazão do córrego em metros cúbicos por segundo.

V é a velocidade calculada pela equação 4 em metros por segundo.

A é a área da seção transversal do córrego em metros quadrados.

### **Método da Meia Seção**

A determinação da área da seção transversal do curso de água foi feita pelo método da meia seção (Santos, 2001), que consiste em medir a profundidade do córrego em diversos pontos igualmente espaçados em determinada seção e calcular a área do setor definido por uma vertical central e pelas metades dos setores adjacentes.

### **Condutivímetro**

O condutivímetro utilizado é caracterizado como de bolso, da marca AKSO, modelo AK51-V2, possuindo faixa de medição de condutividade 0.01 a 19.99 mS/cm (milisiemens/cm), sensibilidade de 0,01 mS/cm e exatidão  $\pm 2\%$  FS. A faixa de temperatura de operação do material é de 0 a 50°C e grau de proteção IP54, o que confere a resistência a água visto que o trabalho foi realizado em um corpo d'água (AKSO Produtos Eletrônicos).

### **Micromolinete**

O micromolinete que foi aplicado nos trabalhos de campo é do modelo C2 da marca OTT e é capaz de realizar mecanicamente medidas pontuais de velocidade. É considerado confiável para velocidades de fluxo entre 0,025 m/s a 5 m/s, possuindo haste ajustável entre 9 mm a 20 mm. Sua exatidão é de  $\pm 2\%$  e pode ser aplicado para profundidades a partir de 4 cm (OTT Hydromet Products).

A equação do micromolinete para velocidades de rotação entre 0,222 rps a 15,9 rps está expressa abaixo.

$$V \text{ (m/s)} = 0,25854 * N(\text{rps}) + 0,00396 \quad (3)$$

V é a velocidade do fluxo de água em metros por segundo.

N é o número de rotações da hélice do molinete por segundo.

### **Medidor de Fluxo**

Com princípio de funcionamento similar ao micromolinete, o medidor de fluxo determina a velocidade da água, porém com um sensor de deslocamento. O equipamento de medição de fluxo utilizado nesse trabalho foi da marca Global Water, modelo FP 111. Sua faixa de medição é de 0,1 a

6,1 m/s com precisão de 0,03 m/s. O aparelho realiza a medição da velocidade a cada segundo e apresenta a média desses valores ao final da medida.

## Metodologia

A metodologia do projeto está baseada na obtenção de dados de vazão obtido através do Método do Traçador, método que é muito utilizado na Europa para medições de vazões em pequenos rios de áreas montanhosas (AYRES, 2001), regiões com as quais a serra gaúcha apresenta diversas semelhanças comportamentais e topográficas. As medições de campo foram realizadas em cinco campanhas distintas, cada qual sob condições meteorológicas distintas, fato que possibilitou a avaliação das medições da calha Parshall sob diferentes condições de vazão.

Ao início de cada amostragem realizada foi efetuada a leitura da vazão na régua linimétrica da calha Parshall instalada, justamente para a posterior comparação com os dados obtidos em campo pelos outros métodos e instrumentos de medição. Em todas as campanhas também foi medida a altura do nível de água em metros no ponto de localização da régua da calha Parshall para que, juntamente com os coeficientes de dimensão da calha, se obtivesse o cálculo da vazão pela fórmula empírica, Equação 1.

O trabalho de campo foi baseado na análise de três pontos de controle. Tomando como referência a calha Parshall, o primeiro ponto estava localizado a montante, o segundo ponto na própria calha Parshall, onde as medições ocorreram na garganta do dispositivo e, por fim, o terceiro ponto de controle estava localizado a jusante da calha. A seção transversal dos pontos de controle necessariamente deve incorporar toda a passagem de água do entorno, ou seja, deve-se observar um único caminho do curso da água, sem a existência de desvios.

Também, como o curso de água em estudo não possui profundidades muito elevadas, os pontos foram escolhidos de modo que se pudesse realizar a medição da seção transversal de maneira correta, sem a interferência de pedras. A realização das medições em mais de um ponto de controle também proporcionou uma maior precisão aos resultados, uma vez que pode, caso ocorresse alguma interferência não prevista dando origem a *outliers* (ou seja, valores atípicos que apresentam um afastamento em relação a série), tal situação seria claramente identificada na análise dos dados, e seus respectivos resultados seriam desconsiderados. Pelos mesmos motivos foram feitas três amostragens em cada uma das cinco campanhas de coleta de dados.

No presente trabalho foi utilizado o método do traçador, sendo o sal de cozinha refinado (NaCl) o elemento traçador escolhido, por ser acessível e por não ser encontrado nas condições naturais do local de medição em concentração considerável. Em uma seção a montante dos três pontos de controle, também escolhida por não apresentar desvios no curso d'água, foi adicionado no escoamento um quilograma (1 kg) do sal de cozinha refinado em um tempo considerado inicial. A partir desse instante foram registradas as condutividades observadas nos pontos de controle a cada segundo até que essa voltasse a ser mínima.

Através da observação do pico de condutividade observado no ponto de controle devido a passagem da pluma salina, o tempo médio que a mesma levou para percorrer a distância entre o ponto de lançamento do NaCl e o ponto de controle em questão foi identificado. O tempo médio considera a curva gaussiana formada pelas três amostragens realizadas, em conjunto com a distância (D) verificada entre os pontos de controle e o ponto de lançamento da solução, permitem o cálculo da velocidade (V) da solução e conseqüentemente também do curso da água.

$$V = D/t \quad (4)$$

Para obter os dados de vazão (Q) é preciso que sejam definidas as áreas (A) das seções transversais de cada ponto de controle, tendo sido utilizado nesse caso o método da meia seção. Após realizar esse cálculo para cada seção onde localizaram-se os pontos de controle, foi efetuada uma média entre a área da seção em questão com as seções que a antecederam.

Esta média é justificada devido à grande diferença entre a largura da seção transversal da calha Parshall e as larguras das outras seções do córrego. Caso essa consideração não fosse levada em consideração, os valores de vazão que seriam encontrados para a calha Parshall seriam extremamente menores do que os valores encontrados nos outros pontos de controle. Tal fato estaria completamente em desacordo com a realidade, o que poderia comprometer a aplicabilidade do método utilizado. Com esses valores é possível calcular a vazão para cada ponto de controle através da Equação 2.

Para a verificação do método do traçador, foram utilizados outros dispositivos no cálculo da vazão do corpo hídrico. Na primeira campanha de coleta de dados foram realizadas medições com um micromolinete. A velocidade do escoamento foi obtida na seção de adição do NaCl e próximo aos pontos de controle. Em cada seção foi registrado o número de rotações do micromolinete em 40 segundos. Mais de um ponto (subseções), com distâncias conhecidas da margem, foram medidos em cada seção para que posteriormente seja calculada a vazão. O número de rotações foi então dividido pelo número de segundos de duração da medida e esse resultado inserido na fórmula do micromolinete, proveniente do fabricante. É obtida a velocidade em cada ponto e calculada a vazão pelo método da meia seção.

Na quarta e quinta campanhas foi feito o uso de um medidor de fluxo. Foram registradas as médias das velocidades medidas durante 30 segundos em cada subseção. Os pontos das medidas seguiram a metodologia dos pontos utilizados com o micromolinete. Assim, as vazões também foram calculadas posteriormente pelo método da meia seção.

## RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta um compilado dos valores de vazões encontrados em cada campanha, para cada seção transversal, e por cada instrumento de medição utilizado. Além disso, ela também retorna o valor de vazão observado na calha Parshall quando das respectivas medições. A análise dos dados nela apresentados é realizada nas Conclusões.

| Nº Ref. Boxplot | Campanha | Instrumento de Medição | Vazão (m³/h) |         |         |                             |
|-----------------|----------|------------------------|--------------|---------|---------|-----------------------------|
|                 |          |                        | Seção 2      | Seção 3 | Seção 4 | Observada na calha Parshall |
| 1               | I        | Condutivímetro         | 32,08        | 26,38   | 30,33   | 45                          |
| 2               |          | Micromolinete          | 70,93        | 66,95   | 65,92   | 45                          |
| 3               | II       | Condutivímetro         | 20,34        | 16,96   | 20,39   | 33                          |
| 4               | III      | Condutivímetro         | 15,78        | 12,60   | 14,30   | 23                          |
| 5               | IV       | Condutivímetro         | 214,89       | 170,76  | 222,27  | 220                         |
| 6               |          | Medidor de Fluxo       | 362,43       | 287,28  | 373,64  | 220                         |
| 7               | V        | Condutivímetro         | 72,64        | 62,93   | 89,23   | 100                         |
| 8               |          | Medidor de Fluxo       | 164,43       | 166,32  | 150,66  | 100                         |

Tabela 1: Comparações de vazões, por campanha e por instrumento.

O Gráfico 1, por sua vez, apresenta as dispersões das vazões por campanha realizada, a partir da representação por Boxplot.

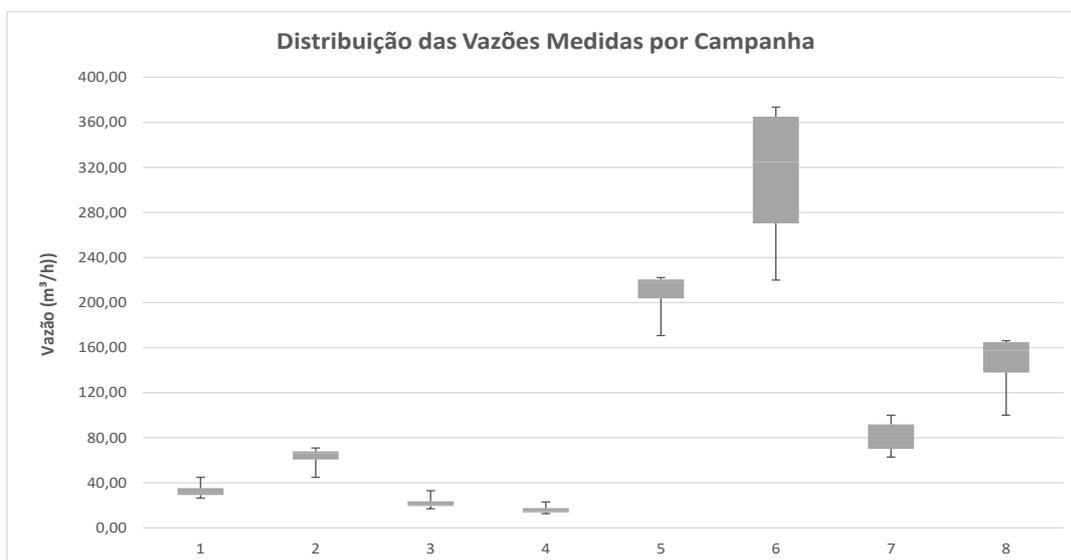


Gráfico 1: Boxplot de distribuição de vazões, por campanha.

No gráfico abaixo nota-se que há uma redução na diferença das vazões registradas pela calha em relação ao método do traçador quando há maior fluxo de água. Isso se deve ao fato de que para valores menores da vazão, há maior influência da composição do leito do rio como por exemplo, de substratos rochosos ou materiais orgânicos depositados, havendo também maior turbulência nas margens. É importante ressaltar que no método do traçador a rugosidade é um fator significativo, o que não ocorre na calha, visto que sua superfície é lisa. Visto que há uma diferença entre a magnitude dos valores apresentados, fica claro que essa é uma circunstância a ser levada em

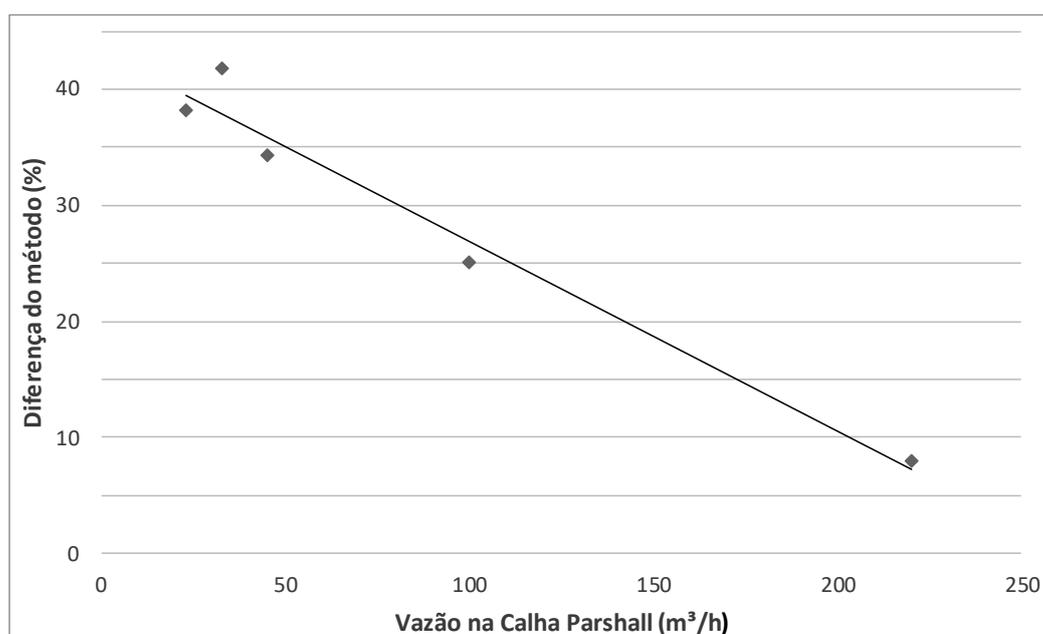


Gráfico 2: Correlação da diferença percentual entre as medidas lidas na calha e as médias registradas com o método do traçador.

consideração.

Visando aferir a veracidade das medições da calha Parshall, foi realizada uma análise comparativa entre os dados coletados em campo (vazão lida na calha Parshall) e os obtidos matematicamente, através da Equação 1.

Conforme já apresentado, os coeficientes  $\lambda$  e  $n$  da Equação 1 são respectivamente 0,381 e 1,580, uma vez que a calha apresenta uma garganta de  $W = 6''$ . As medidas da altura do nível de água encontradas nas campanhas de um a cinco foram, respectivamente: 0,120 m; 0,0925 m; 0,075 m; 0,380 m; e 0,200m, e representam os valores de  $H_o$  na aplicação da Equação.

Os resultados comparativos das vazões de campo e calculadas estão apresentados na Tabela 2, abaixo:

| Campanha | Vazão lida na calha Parshall<br>(m <sup>3</sup> /h) | Vazão calculada pela fórmula<br>(m <sup>3</sup> /h) |
|----------|---|---|
| 1        | 45  | 48,12   |
| 2        | 33  | 31,90   |
| 3        | 23  | 22,90   |
| 4        | 220   | 221,08  |
| 5        | 100   | 107,86  |

Tabela 2: Análise comparativa da equação empírica com os dados de campo.

## CONCLUSÕES

Conforme o esperado, os valores de vazões resultantes das medições realizadas com o Micromolinete e com o Medidor de Fluxo ficaram acima dos valores obtidos tanto pelo Método do Traçador quanto pelos valores observados na régua linimétrica da calha Parshall e pelos obtidos pela equação empírica da mesma.

Apesar de serem instrumentos de alta precisão, tanto o Micromolinete quanto o Medidor de Fluxo necessitam de certas condições mínimas para que possam ser utilizados corretamente para análises de vazão, como por exemplo: energia mínima para movimentação das hélices; profundidades mínimas para completa submersão das partes medidoras dos instrumentos; profundidades suficientemente divididas ao longo das seções transversais, para melhor representatividade das velocidades medidas nas micro seções; entre outros. O córrego em questão, entretanto, não apresenta essas condições mínimas para a utilização desses equipamentos como instrumentos de medição de vazão.

As vazões medidas em campo através da régua linimétrica da calha Parshall retornam valores, em média, de 15 m<sup>3</sup>/h a mais do que os valores de vazão obtidos através do Método do Traçador. Percentualmente falando, essa diferença é mais significativa para as medições de baixas vazões.

Entretanto, o Método do Traçador é um método indireto de medição de vazão, que contém diversas etapas de medições e de cálculos de valores médios, e que pode sofrer algumas interferências devido a fatores externos. Além disso, as calhas Parshall normalmente são construídas e testadas em laboratório, sob condições de vazão, velocidade e até mesmo meteorológicas extremamente controladas, facilitando assim a aferição das mesmas. Dessa forma, já era esperado que os valores obtidos através das medições pelo método do traçador retornassem valores levemente abaixo dos valores constatados em campo na calha Parshall.

Finalmente, a instalação e aferição da calha Parshall também foi avaliada a partir da análise dos dados observados em campo e sua conformidade ou não em relação à equação empírica da mesma. Essa relação foi muito satisfatória e permitiu verificar a correta instalação do dispositivo, bem como a aferição dos valores nele medidos.

## REFERÊNCIAS

AKSO Produtos Eletrônicos. Manual de Instruções - Medidor de Condutividade de Bolso AK51 - V2. Disponível em: <[http://www.akso.com.br/produto/medidores-de-condutividade-tds-e-salinidade/medidor\\_de\\_condutividade\\_de\\_bolso\\_ak51-277](http://www.akso.com.br/produto/medidores-de-condutividade-tds-e-salinidade/medidor_de_condutividade_de_bolso_ak51-277)>.

AYRES, Mario C. Hidrometria - medição de vazão. Seminário apresentado à Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu, UNESP. Botucatu, São Paulo, 2001. Disponível em: <http://static.recantodasletras.com.br/arquivos/4559932.pdf>.

NETO, Azevedo et al. Manual de hidráulica. Ed. Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 1998.

OTT Hydromet Products. Operating Instructions - Small Current Meter C2. Disponível em: <<http://www.ott.com/en-uk/products/download/operating-instructionssmall-current-meter-c2/>>.

SANTOS, I. dos; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. Hidrometria aplicada. Curitiba: ITD, 2001.