

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### CONFEÇÃO E TESTE DE PIEZOMANÔMETROS DE BAIXO CUSTO PARA A QUANTIFICAÇÃO DE FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

*Priscilla Kern<sup>1</sup>; Thiago de Liz Arcari<sup>2</sup>; Davide Franco<sup>3</sup>; Patrícia Kazue Uda<sup>4</sup>*

**RESUMO** – Um dos aspectos importantes nos estudos das interações entre águas subterrâneas (Asub) e superficiais (Asup) é o desenvolvimento de metodologias de baixo custo para identificação e quantificação dos fluxos de água entre estes compartimentos. O estudo apresenta a metodologia utilizada para a construção e instalação dos piezomanômetros e análise granulométrica do sedimento. Ao comparar dois métodos complementares para a quantificação dos aportes de águas subterrâneas, piezomanômetros e *seepage meter* é possível validar ambas metodologias. A complementação das medidas realizadas com os piezomanômetros com as medições feitas com os *seepage meters* acarretaram na confirmação dos padrões de interação Asub-Asup verificados e dão uma estimativa da taxa de fluxo entre os compartimentos superficiais e subterrâneos. Sendo assim, o método se mostrou eficiente porém é necessário atentar-se a formação de bolhas de ar no interior da tubulação e pequenos vazamentos entre as conexões da tubulação e às condições meteorológicas, visto que o vento e ondulações dificultam as medições de maneira precisa.

**ABSTRACT** – An important aspect on groundwater (GW) and surface water (SW) interactions is the development of low cost methods to identify and quantify the water flows between these compartments. This study presents a method used to construct and install piezomanometers and granulometric analysis of the sediment to identify GW-SW interactions. When comparing two complementary methods for the quantification of inputs of groundwater (piezomanometers and seepage meters) it was possible to validate the methodologies. The measurements performed with the piezomanometers complemented the measurements made with seepage meters. The results have led to confirm the GW-SW interaction patterns and gave an estimate of the flow rate between the superficial and subterranean compartments. Therefore, the method has proved to be efficient, but it is necessary to observe the formation of air bubbles inside the pipeline and small leaks between the pipe connections. Meteorological conditions also have to be considered since wind and ripples can cause inaccurate measurements.

**Palavras-Chave** – Piezomanômetros, condutividade hidráulica, descarga de águas subterrâneas.

---

1) Mestranda, Laboratório de Hidráulica Marítima da UFSC, priscilla.kern@gmail.com

2) Mestre, Laboratório de Hidráulica Marítima da UFSC, thiagoarcari@gmail.com

3) Doutor, Laboratório de Hidráulica Marítima da UFSC, d.franco.ocean@gmail.com

4) Doutora, Laboratório de Hidráulica Marítima da UFSC, patricia.kazue@ufsc.br

## INTRODUÇÃO

O estudo das interações entre águas subterrâneas e superficiais (Asub-Asup) tem como objetivo quantificar balanços hídricos e avaliar possíveis efeitos das atividades humanas em rios, lagos, lagoas e oceanos. Um dos aspectos importantes dos estudos é o desenvolvimento de metodologias de baixo custo para identificação e quantificação dos fluxos de água entre estes compartimentos.

Estudos anteriores realizados na região sul do estado do Rio Grande do Sul (RS), na Lagoa Mangueira (Andrade, 2012; Attisano, 2008), Lagoa dos Patos (Niencheski, 2007) e Lagoa Mirim (Santos, 2008) apontam que as divergências nos valores de balanço hidrológico de tais lagoas resultam em taxas positivas de descarga subterrânea.

O piezomanômetro, metodologia desenvolvida primeiramente por Winter *et al.* (1988), é utilizado para identificar o sentido de fluxos entre as águas subterrâneas e superficiais em corpos hídricos. O método baseia-se na medição das cargas hidráulicas em um manômetro através de pequenos tubos inseridos no sedimento do corpo hídrico.

Complementarmente, deve ser realizada a estimativa da condutividade hidráulica no local, propriedade responsável pela capacidade de fluxo de água no sedimento em condições saturadas, controlada diretamente pela quantidade, distribuição, geometria e conectividade dos poros do material.

A metodologia ora descrita propõe um método alternativo para estimativas destes fluxos, estando inserida em um plano de trabalho que visa apresentar modelos de fluxo e transporte da água subterrânea na Lagoa da Conceição, compondo a linha de pesquisa desenvolvida pelo Laboratório de Hidráulica Marítima (LaHiMar), que investiga os fenômenos físicos e biogeoquímicos da laguna.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

A Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição está localizada na porção centro-leste da Ilha de Santa Catarina (6946807 N; 751632 L; 22 J), representada na Figura 1. A área total da bacia hidrográfica é de 78 km<sup>2</sup>, onde desta, a laguna ocupa uma área de 24 km<sup>2</sup>, estendendo-se por 13,5 km sentido norte-sul, orientado paralelamente à costa. A distribuição das estações amostrais selecionadas visa abranger as diferentes regiões da bacia hidrográfica a fim de investigar a variação espacial das interações Asub-Asup. A Figura 1, apresenta a localização das oito estações amostrais: Osni Ortiga (OOR), Lagoa Iate Clube (LIC), Ponta das Almas (PDA), Costa da Lagoa Cachoeira (CDC), Costa Rio Vermelho (CRV), Rendeiras Mar (RMA), Rendeiras (REN), Rendeiras Dunas (RDU). A sub-bacia de cada seção está destacada em preto. Os tipos de solo das sub-bacias das estações amostradas foram determinados a partir da classificação realizada por Odreski (2010). No subsistema sul, assim como PDA (subsistema central), possuem o mesmo tipo de solo (areias quartzosas-AQ). Em geral esses solos apresentam textura areia ou areia franca ao longo de pelo menos 2 m de profundidade

acarretando em elevada taxa de infiltração. O restante do subsistema central, representado pelos três pontos nas Rendeiras, assim como CRV, é composto por dunas (DN) e areias marinhas (Ama1), solos que comumente apresentam taxa de infiltração superior à das areias quartzosas. O tipo de solo encontrado na sub-bacia CDC (argissolo), proporciona uma baixa infiltração da água e consequentemente, um elevado escoamento superficial. O ponto amostrado está próximo à uma cachoeira que carrega sedimentos para o local amostrado. Por fim, a sub-bacia da estação CRV é composta exclusivamente por areias marinhas onde supostamente, toda precipitação nesta região infiltra no solo, inclusive nas condições de umidade do solo elevada.

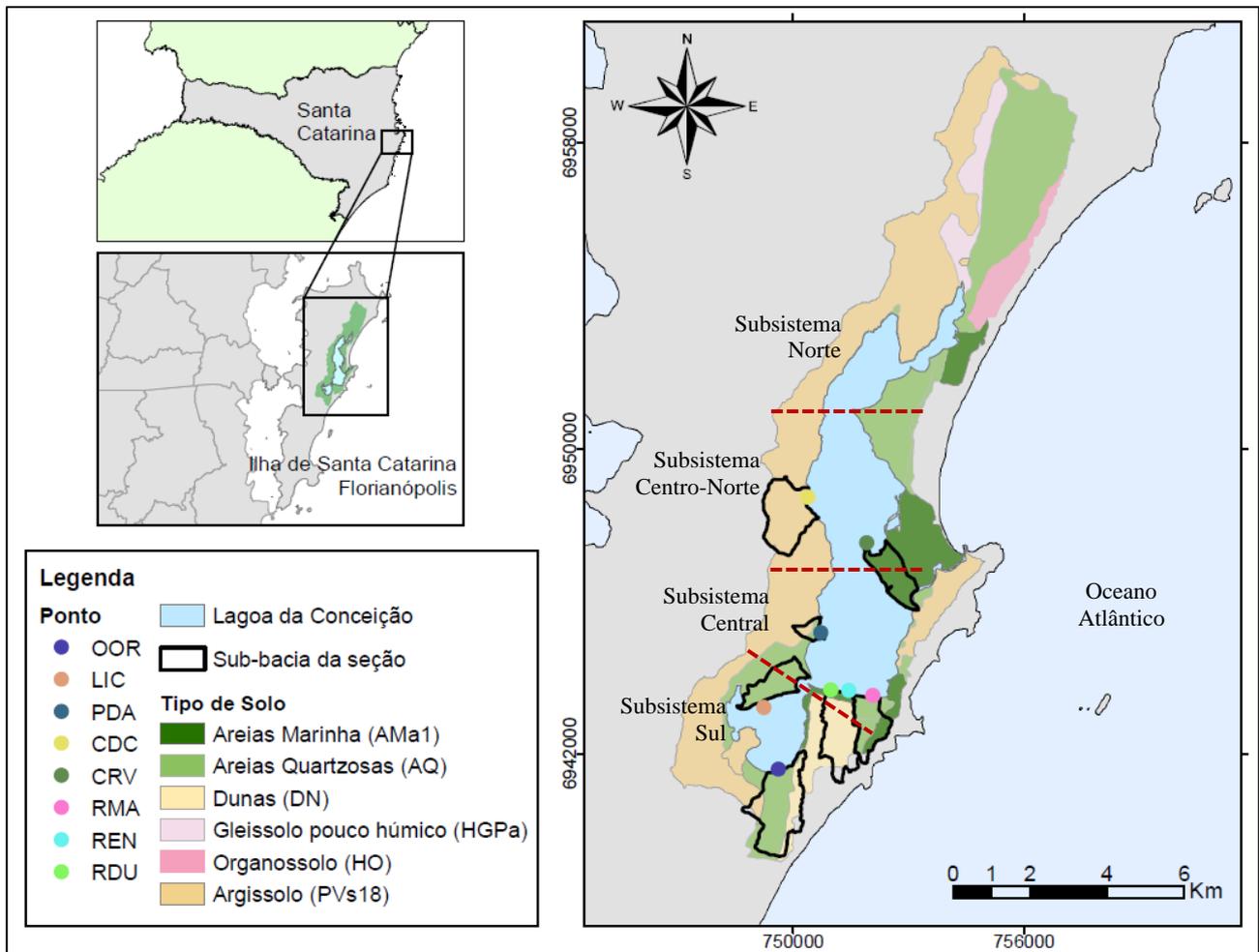


Figura 1 - Localização da área de estudo e pontos de amostragem de sedimentos.

### Piezomanômetros

Os piezomanômetros (Figura 2) consistem no acoplamento de tubos flexíveis com seção filtrante formando um manômetro em U, onde uma extremidade com seção filtrante está inserida em determinada profundidade no sedimento e a outra extremidade mergulhada no corpo hídrico. Assim, os piezomanômetros permitem a medição da diferença entre a carga hidráulica no sedimento e do corpo superficial. Neste estudo, foram utilizadas mangueiras com diâmetro de 9,5 mm (3/8"), com seção filtrante de 5 cm nas extremidades, envolvidas com malha de nylon para impedir a entrada de sedimento no interior da mangueira. Para realizar a inserção da mangueira no sedimento foi utilizado

um invólucro (mini piezômetro) de PVC (DN 32) previamente instalado, com seção filtrante de 20 cm de extensão, aberturas de 5mm espaçadas uniformemente e manta geotêxtil a fim de evitar entupimento. Para conduzir a água superficial e subterrânea para o manômetro foi utilizada bomba de vácuo manual, modelo Kitest KA-056. Para diminuir a criação de bolhas, a aplicação de vácuo foi feita lenta e gradual. A eliminação das bolhas se fez pela agitação dos tubos até a dissolução dessas. Para melhorar a estanqueidade, a extremidade do tubo flexível foi mergulhada em água quente antes da inserção nas conexões.

O desnível é verificado através de régua milimetrada acoplada ao manômetro, medindo os níveis (cargas) dos dois tubos no mesmo instante. Essa diferença de cargas consiste no parâmetro ( $dh$ ) da equação de Darcy. O gradiente hidráulico vertical é obtido ao realizar a divisão de  $dh$  pela profundidade de inserção do tubo no sedimento ( $dl$ ). A descarga é dada conforme equação 1, onde é ainda se faz necessário o parâmetro condutividade hidráulica ( $K$ ):

$$q = -K \frac{dh}{dl} \quad (1)$$

Quando a carga no tubo do sedimento é maior do que à do tubo na água superficial, a direção do fluxo na interface sedimento-água deve ser no sentido do compartimento subterrâneo para o superficial. Logo, se a carga no tubo do sedimento é inferior à do tubo da água superficial, é indicado que naquele local ocorre fluxo sentido superficial-subterrâneo (infiltração), conforme Figura 2:

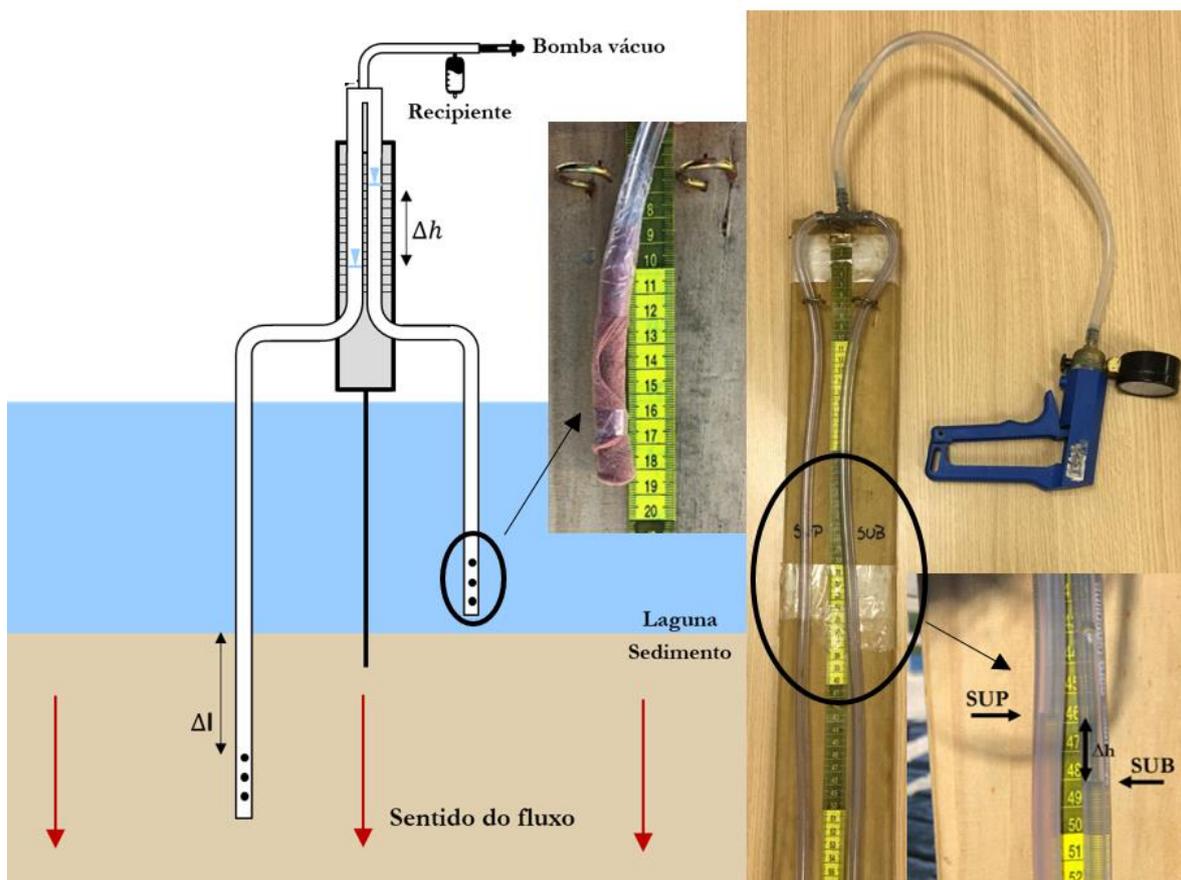


Figura 2 - Esquema do funcionamento do piezomanômetro

O erro de medição devido a utilização de régua milimetrada é segundo a equação 2:

$$\varepsilon \left( \frac{cm}{d} \right) = K \frac{0,1}{dl} * 86400 \quad (2)$$

Concomitantemente, às medições realizadas com os piezomanômetros, foi realizada a medição direta dos fluxos Asub-Asup a partir de *seepage meters*, conforme descrito por (ARCARI, 2019; KERN, 2018). As medições realizadas com seepage meter são normalmente multiplicadas por um fator de correção para considerar as perdas por atrito através dos componentes instrumento (Martinez, 2016). Os fatores de correção foram determinados para vários projetos de seepage meters, comparando as taxas de infiltração geradas em um tanque de calibração com taxas de infiltração dos seepage meters instalados nos tanques. Os valores relatados variaram de 1,05 a 1,74 (Tabela 1). Essa ineficiência diminuiu ao longo do tempo com melhorias no design do medidor de infiltração. (Rosenberry, 2006). Como o presente estudo ainda não realizou o experimento para determinar eficiência dos seepage meters instalados na Lagoa da Conceição adotou-se o valor de correção igual a 1,25.

Tabela 1: Fatores de correção reportados para ajustar as taxas de fluxo do seepage meter às taxas reais.

| Citação                       | Fator de Correção |
|-------------------------------|-------------------|
| Erickson, 1981                | 1,43              |
| Erickson, 1981                | 1,74              |
| Cherkauer and McBride, 1988   | 1,60              |
| Dorrance, 1989                | 1,61              |
| Asbury, 1990                  | 1,11              |
| Belanger and Montgomery, 1992 | 1,30              |
| Murdoch and Kelly, 2003       | 1,25              |
| Rosenberry, 2005              | 1,05              |

Fonte: Rosenberry (2006).

### Estimativa de condutividade hidráulica

A estimativa de condutividade hidráulica se deu a partir da análise granulométrica do sedimento, onde foram realizadas duas etapas de amostragem (julho e novembro de 2018). Os sedimentos foram coletados utilizando um *core sampler* de PVC. A primeira etapa (LIC, PDA, CDC, CRV e REN) foi realizada a uma profundidade de 0,70m, enquanto a segunda (OOR, RDU e RMA) à uma profundidade de 0,20m. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente etiquetados e enviadas para o Laboratório de Oceanografia Costeira da UFSC. As análises foram realizadas no analisador de distribuição de tamanho de partículas por difração a laser Horiba LA-950.

Para a estimativa da condutividade hidráulica foi aplicada a fórmula de Hazen e a fórmula de Kozeny-Carman. A fórmula de Hazen é dada por (equação 3):

$$K_H = C_h d_{10}^2 \quad (3)$$

onde:

$K$  = condutividade hidráulica (cm/s);

$C_h$  = fator empírico de Hazen (normalmente igual a 100) e

$d_{10}$  = diâmetro efetivo (tamanho da partícula em que 10% é menor) (cm).

Enquanto a fórmula de Kozeny-Carman é dada por (equação 4):

$$K_K = \left( \frac{\rho g}{\mu} \right) \left[ \frac{n^3}{(1-n)^2} \right] \left( \frac{d_{10}^2}{180} \right) \quad (4)$$

onde:

$\rho$  = densidade da água (kg/m<sup>3</sup>);  $g$  = aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>);  $\mu$  = viscosidade dinâmica da água (kg/(m.s));  $n$  = porosidade (%) e  $d_{10}$  = diâmetro efetivo (tamanho da partícula em que 10% é menor) (cm).

Para o cálculo de porosidade ( $n$ ), a seguinte fórmula foi utilizada (equação 5):

$$n = 0,255(1 + 0,83^U) \quad (5)$$

onde  $U$  é o coeficiente de uniformidade dos grãos, calculado pela fórmula (equação 6):

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (6)$$

onde  $d_{60}$  e  $d_{10}$  representam o diâmetro em (mm) em que 60% e 10% da amostra é menor, respectivamente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Estimativa de condutividade hidráulica

A partir de ensaios granulométricos realizados nas estações amostrais, foi estimada a condutividade hidráulica do sedimento a partir das fórmulas empíricas de Hazen ( $K_H$ ) e Kozeny-Carman ( $K_K$ ). A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos nos ensaios granulométricos realizados nas duas etapas (Julho e Novembro de 2018) e as estimativas de condutividade hidráulica calculadas.

Verificou-se que o diâmetro efetivo ( $d_{10}$ ) variou entre 0,05 mm na estação PDA e 0,18 mm na estação RMA. Foi observado que o Coeficiente de Uniformidade ( $C_u$ ) em todas as estações foi menor que 5, indicando sedimentos uniformes. Da mesma maneira, o Coeficiente de Curvatura ( $C_c$ ), com exceção das três estações localizadas nas Rendeiras, todas as estações apresentaram valores entre 1 e 3, indicando sedimentos bem graduados. O índice de vazios ( $n$ ) foi calculado a partir do Coeficiente de Uniformidade onde todas as amostras compreenderam valores próximos de 40%, típico de areias.

Na estação CDC, ocorre a presença de partículas com maior diâmetro e baixa maturidade, como seixos finos e areias médias e grossas, devido à sua localização, que recebe sedimentos provenientes dos morros a partir de pequenos córregos. O mesmo não ocorre na estação PDA pois mesmo estando localizada na margem oeste, a estação localiza-se na base de uma pequena planície, diminuindo o aporte de sedimentos mais grosseiros.

Em relação à condutividade hidráulica, as fórmulas empíricas apresentaram valores na ordem de  $10^{-2}$  cm/s e  $10^{-3}$  cm/s, sendo esses valores típicos de sedimentos arenosos. Observou-se que para todas as estações, as duas metodologias apresentaram valores na mesma ordem de grandeza. Sendo assim, ambas foram utilizadas neste estudo como referência.

A estações localizadas na Av. das Rendeiras (REN, RDU e RMA) apresentaram os maiores valores de condutividade hidráulica estimadas por Kozeny (Equação 4) ( $3,9 \times 10^{-2}$  cm/s e  $4,7 \times 10^{-2}$  cm/s) dentre as estações, valor superior ao utilizado por Zanatta (2005) ( $5,0 \times 10^{-3}$  cm/s). A estação CDC apresentou o segundo maior valor de condutividade hidráulica ( $1,8 \times 10^{-2}$  cm/s) e as demais estações obtiveram resultados bastante próximos, variando de  $5,6 \times 10^{-3}$  cm/s a  $8,2 \times 10^{-3}$  cm/s.

Tabela 2 - Ensaios granulométricos e estimativas de condutividade hidráulica.

| Estação/<br>Resultado | LIC    | PDA    | CDC    | CRV    | OOR    | RLE    | RDU    | RMA    |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| d10 (mm)              | 0,08   | 0,08   | 0,16   | 0,08   | 0,09   | 0,16   | 0,17   | 0,18   |
| d60 (mm)              | 0,23   | 0,25   | 0,60   | 0,23   | 0,27   | 0,26   | 0,27   | 0,28   |
| d50 (mm)              | 0,21   | 0,22   | 0,50   | 0,21   | 0,25   | 0,24   | 0,25   | 0,26   |
| Cu                    | 2,94   | 3,44   | 3,68   | 2,92   | 3,30   | 1,64   | 1,55   | 1,61   |
| Cc                    | 1,58   | 1,60   | 1,03   | 1,50   | 1,73   | 1,02   | 0,99   | 0,99   |
| Hazen (cm/s)          | 6,7E-3 | 6,1E-3 | 2,5E-2 | 6,2E-3 | 8,3E-3 | 2,6E-2 | 3,0E-2 | 3,1E-2 |
| Kozeny (cm/s)         | 7,0E-3 | 5,6E-3 | 1,8E-2 | 6,2E-3 | 8,2E-3 | 3,9E-2 | 4,7E-2 | 4,7E-2 |

### Cargas hidráulicas e descargas de águas subterrânea

Ao total foram realizadas 4 etapas para o monitoramento das cargas hidráulicas na Lagoa da Conceição. Com o objetivo de confirmar e validar o sentido e as taxas dos fluxos Asub-Asup, as medições com piezomanômetros foram realizadas concomitantemente com medições diretas de descargas de águas subterrânea através de *seepage meters*.

A Tabela 3 traz os resultados encontrados para descarga (q) obtida a partir do desnível dos piezomanômetros calculada a partir da granulometria determinada pelas duas metodologias, Kozeny-Carman e Hazen, e uma comparação com a descarga obtida através das medidas diretas dos *seepage meters*.

De modo geral, o sentido do fluxo entre águas subterrâneas e superficiais medidos com o piezomanômetro se confirmou com o sentido do fluxo dos *seepage meters* em todas as medições, o que confere validação da metodologia para aferição do sentido dos fluxos Asub-Asup.

Na estação OOR, as medições de desnível na segunda etapa, confirmaram as medidas realizadas com os *seepages* na seção, não somente o sentido do fluxo se confirmou, como a taxa de  $-20,3 \pm 5,1$  cm/d medida pelo *seepage* está dentro da faixa medida com o piezomanômetro, onde neste ponto varia entre -19,8 cm/dia a -21,7 cm/d, considerando as descargas calculadas a partir da granulometria estimada por Hazen e Kozeny. Para a primeira etapa apenas o sentido do fluxo se confirmou.

Na estação LIC, todas as medições de desnível confirmaram o padrão de infiltração nesta localidade e das 4 etapas realizadas 3 também confirmaram a taxa de fluxo. Na estação PDA, houve

apenas uma medida, que confirmou o sentido do fluxo naquele momento, no entanto a taxa de fluxo que deveria estar compreendida pelas medições do piezomanômetro entre -10,5 cm/d e 12,1 cm/d segundo *seepage* foi de  $-4,1 \pm 1,0$  cm/d.

Nas estações CDC e CRV não foi possível confirmar a relação entre o fluxo medido com os piezomanômetros e os *seepages meters* pois na Etapa 2 não foi possível realizar a medição com *seepage meter* devido problemas operacionais.

Nas estações RDU, REN e RMA se confirmou o sentido do fluxo Asub-Asup, onde o nível do tubo subterrâneo foi superior ao nível do tubo superficial, com a exceção da Etapa 2, onde o fluxo ocorreu no sentido Asup-Asub para ambas as metodologias.

Na Tabela 3 observa-se que os valores das medidas diretas de fluxo encontram-se entre os valores de fluxo calculados a partir das duas metodologias, Hazen e Kozeny, o que é esperado visto que as fórmulas empíricas fornecem uma estimativa de condutividade hidráulica considerando apenas a granulometria do sedimento.

Tabela 3 - Resultados encontrados para descarga ( $q$ ) obtida a partir do desnível dos piezomanômetro ( $dl$ ) calculada a partir da granulometria ( $K$ ) determinada por, Kozeny-Carman e Hazen, e uma comparação com a descarga obtida através da medida direta dos *seepage*.

| Loca<br>l | Data     | Etapa | $\Delta h$<br>(cm) | dl<br>(cm) | dh/dl | $q$ (cm/d) = $(dh/dl) \times K$ |                               |               |                      | $q$ medido Seepage |           | Sentido<br>do fluxo<br>coincide?<br>(V/F) |
|-----------|----------|-------|--------------------|------------|-------|---------------------------------|-------------------------------|---------------|----------------------|--------------------|-----------|---|
|           |          |       |                    |            |       | Konezy<br>$\epsilon$ ( $\pm$ )  | Hazen<br>$\epsilon$ ( $\pm$ ) | $q$<br>(cm/d) | Fator de<br>correção |                    |           |   |
| OOR       | 30/11/18 | 2     | -6,7               | 93         | -0,07 | -52,0                           | 0,8                           | -50,9         | 0,8                  | -8,0               | $\pm 2,0$ | V   |
| OOR       | 05/02/19 | 4     | -2,8               | 95         | -0,03 | -20,9                           | 0,7                           | -20,5         | 0,8                  | <b>-20,3</b>       | $\pm 5,1$ | V   |
| LIC       | 12/07/18 | 1     | -0,7               | 63         | -0,01 | -6,9                            | 1,0                           | -7,1          | 1,9                  | <b>-7,1</b>        | $\pm 1,8$ | V   |
| LIC       | 30/11/18 | 2     | -1,8               | 94         | -0,02 | -11,4                           | 0,6                           | -11,7         | 1,3                  | <b>-9,1</b>        | $\pm 2,3$ | V   |
| LIC       | 23/01/19 | 3     | -3,5               | 97         | -0,04 | -21,7                           | 0,6                           | -22,4         | 1,2                  | <b>-24,4</b>       | $\pm 6,1$ | V   |
| LIC       | 05/02/19 | 4     | -0,9               | 100        | -0,01 | -5,0                            | 0,6                           | -5,1          | 1,2                  | -7,5               | $\pm 1,9$ | V   |
| PDA       | 05/02/19 | 4     | -2,0               | 91         | -0,02 | -10,5                           | 0,5                           | -9,6          | 0,6                  | -4,1               | $\pm 1,0$ | V   |
| CRV       | 30/11/18 | 2     | -2,0               | 91         | -0,02 | -11,9                           | 0,6                           | -11,9         | 0,9                  | -                  | -         | -   |
| REN       | 12/07/18 | 1     | 0,6                | 100        | 0,01  | 13,4                            | 0,7                           | 20,3          | 2,6                  | 1,8                | $\pm 0,5$ | V   |
| REN       | 30/11/18 | 2     | -1,0               | 93         | -0,01 | -24,0                           | 3,6                           | -36,5         | 2,8                  | -2,8               | $\pm 0,7$ | V   |
| REN       | 05/02/19 | 4     | 1,1                | 91         | 0,01  | 27,6                            | 3,7                           | 41,9          | 2,9                  | 0,5                | $\pm 0,1$ | V   |
| RDU       | 30/11/18 | 2     | 0,8                | 93         | 0,01  | 20,8                            | 4,4                           | 32,6          | 2,8                  | -                  | -         | -   |

## CONCLUSÃO

A utilização do piezomanômetro se mostrou bastante útil sobretudo para a investigação e confirmação dos sentidos dos fluxos na interface sedimento-água. A complementação com as medições feitas com *seepage meters* acarretam na confirmação dos padrões de interação Asub-Asup verificados e dão uma estimativa da taxa de fluxo entre os compartimentos superficiais e subterrâneos.

Acredita-se que a diferença entre as descargas calculadas através da Equação de Darcy e da medida direta com *seepage meters* deve-se ao fato de ambas metodologias serem suscetíveis a erros

de medição, conforme abordado por Arcari (2019). Da mesma forma, ambas metodologias apresentam resultados satisfatórios para investigação e diagnóstico inicial.

Uma das possíveis fontes de erro nos piezomanômetros se deve ao posicionamento da pequena seção filtrante de 5 cm, inserida em uma profundidade de aproximadamente 1,00 m, onde o gradiente hidráulico medido representa o parâmetro do sedimento nesta profundidade. Já a estimativa de condutividade hidráulica foi feita através de ensaio granulométrico a partir da homogeneização de camada de 70 cm do sedimento e em alguns pontos a 20 cm, o que pode ter levado à essa dissemelhança. Outro fato é que a profundidade ( $dl$ ) do mini piezômetro deve ser medida em todas as etapas, pois devido a ações do vento e ondulação ocorre a movimentação do sedimento de fundo, podendo alterar o  $dl$ .

Uma das dificuldades encontradas foi a inserção do mini piezômetro no sedimento, que foi demorada e dificultosa em função do uso de uma ponteira não adequada. Sugere-se, para próximos estudos, a fabricação de uma peça rígida com ponteira estreita, que facilite a instalação dos mini piezômetros.

Após a inserção dos tubos, a medição foi realizada sem maiores dificuldades. Deve-se atentar à formação de bolhas de ar no interior da tubulação e pequenos vazamentos entre as conexões da tubulação. É necessário também atentar-se às condições meteorológicas, visto que o vento e ondulações dificultam as medições de maneira precisa.

Recomenda-se realizar estudos para medição da condutividade hidráulica *in loco*, conforme propõem Cardenas e Zlotnik (2003), que desenvolveram o método de injeção de carga constante para o cálculo da condutividade hidráulica em rios, lagos e lagunas com sedimento arenoso. O método consiste na injeção de água com carga e vazão constante em um mini piezômetro instalado no sedimento. A partir da estabilização do fluxo, os dados de vazão, carga hidráulica e geometria do piezômetro, são utilizadas as equações de Bouwer-Rice (1976) para determinação da condutividade hidráulica. Outro método, proposto por Baxter *et al.* (2003), é semelhante ao anterior, porém leva em consideração o tempo necessário para o nível no piezômetro estabilizar após a injeção singular de um volume d'água.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de estudo concedidas aos primeiro e segundo autores.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C. F. F. *et al.* (2012). *Fluxos de nutrientes associados às descargas de água subterrânea para a Lagoa Mangueira (Rio Grande do Sul, Brasil)*. Química Nova, v. 35, n. 1, p. 5–10.
- ARCARI, T. L.; KERN, P.; VERONA, L. S.; FRANCO D. (2019). *As interações entre águas subterrâneas e superficiais em uma laguna costeira: Lagoa da Conceição, Florianópolis/SC, Brasil*. Águas Subterrâneas, v. 33, p. 34-44.
- ATTISANO, K. K. *et al.* (2008). *Evidences of continental groundwater inputs to the shelf zone in Albardão, RS, Brazil*. Brazilian Journal of Oceanography, v. 56, n. 3, p. 189–200.
- BAXTER, C.; HAUER, F. R.; WOESSNER, W. W. (2003) *Measuring Groundwater–Stream Water Exchange: New Techniques for Installing Minipiezometers and Estimating Hydraulic Conductivity*. Transactions of the American Fisheries Society, v. 132, p. 493–502.
- BOUWER, H. & RICE, R.C., 1976. *A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells*. Water Resources Research, 12(3), p.423-428.
- CARDENAS, M. B.; ZLOTNIK, V. A. (2003) *A Simple Constant-Head Injection Test for Streambed Hydraulic Conductivity Estimation*. Ground Water, v. 41, n. 6, p. 867–871.
- KERN, P.; ARCARI, T. L.; FRANCO D. (2018) *Estudo do uso de seepage meters para a quantificação dos aportes subterrâneos de uma laguna subtropical: Lagoa da Conceição, Florianópolis/SC Brasil*. XXVI JJI. Jornadas Jóvenes Investigadores AUGM, Mendoza, Argentina.
- MACHADO, M. A. (2018). *Avaliação da influência do crescimento populacional na balneabilidade da Lagoa da Conceição*. RELATÓRIO FINAL Programa Institucional de Iniciação Científica e Tecnológica/PICT. PIBIC/CNPq – 2017/2018. Não Publicado.
- MARTINEZ, C. J. (2013) *Mini-piezometers for Measuring Groundwater to Surface Water Exchange*. USDA, University of Florida IFAS Extension Online.
- NIENCHESKI, L. F. H. *et al.* (2007). *Submarine groundwater discharge of nutrients to the ocean along a coastal lagoon barrier, Southern Brazil*. Marine Chemistry, v. 106, n. 3–4, p. 546–561.
- ODRESKI, L. F. R. (2010) *Classificação da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição em microbacias e determinação do Curve Number (CN) utilizando técnicas de geoprocessamento e dados de sensoriamento remoto - Florianópolis - SC*. Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, SC.
- ROSENBERRY, D. O.; MENHEER, M. A. (2006) *A System for Calibrating Seepage Meters Used to Measure Flow Between Ground Water and Surface Water*. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2006-5053, p. 21.
- SANTOS, I. R. *et al.* (2008) *Tracing anthropogenically driven groundwater discharge into a coastal lagoon from southern Brazil*. Journal of Hydrology, v. 353, n. 3–4, p. 275–293.
- WINTER, T. C.; LABAUGH, J. W.; ROSENBERRY, D. O. (1988). *The design and use of a hydraulic potentiometer in hydraulic of differences head direct measurement between and surface water groundwater*. Limnology and Oceanography, v. 33, n. 5, p. 1209–1214.
- ZANATTA, L. C. (2005) *Riscos de poluição em lençol freático com infiltração de efluente tratado*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.