

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

Matheus Eiji Nogueira Ikezawa

ESTUDO SOBRE O APORTE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO LESTE DA
LAGUNA DA CONCEIÇÃO, ILHA DE SANTA CATARINA, BRASIL.

Florianópolis

2019

Mattheus Eiji Nogueira Ikezawa

ESTUDO SOBRE O APORTE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO LESTE DA
LAGUNA DA CONCEIÇÃO, ILHA DE SANTA CATARINA, BRASIL.

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em
Oceanografia do Centro de Ciências Físicas e
Matemáticas da Universidade Federal de Santa Catarina
como requisito para a obtenção do título de Bacharel em
Ocenografia

Orientador: Prof. Davide Franco, Dr.

Coorientadora: Priscila Kern, Msc.

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Ikezawa, Mattheus Eiji Nogueira
ESTUDO SOBRE O APORTE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO
LESTE DA LAGOA DA CONCEIÇÃO, FLORIANÓPOLIS/SC. / Mattheus
Eiji Nogueira Ikezawa ; orientador, Davide
Franco,
coorientadora, Priscilla Kern, 2019.
47 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências
Físicas e Matemáticas, Graduação em Oceanografia,
Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. Água subterrânea. 3. Descarga de
água subterrânea. I. Franco, Davide . II. Kern, Priscilla.
III. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Oceanografia. IV. Título.

Mattheus Eiji Nogueira Ikezawa

ESTUDO SOBRE O APORTE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO LESTE DA
LAGUNA DA CONCEIÇÃO, ILHA DE SANTA CATARINA, BRASIL.

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Oceanografia” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Oceanografia

Florianópolis, 12 de novembro de 2019.

Prof. Felipe M. Pimenta, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Davide Franco, Dr
Orientador(a)
Instituição UFSC

Profa. Patricia Kazue Uda, Dra
Avaliadora
Instituição UFSC

Prof. Norberto Horn Filho, Dr.
Avaliador
Instituição UFSC

Este trabalho é dedicado a minha família e todos amigos que participaram da minha caminhada até aqui.

AGRADECIMENTOS

Essa é a parte mais importante desse trabalho. Se há algo que me traz prazer na vida é agradecer, e durante a graduação foram tantas pessoas que me ajudaram, realmente muitas, tanto no âmbito acadêmico como no pessoal, portanto se esquecer de alguém, espero que já a tenha agradecido durante a vida.

Antes de tudo, seu Eiki e dona Romilda, vocês me dão força e inspiração pra continuar nessa caminhada que muitas vezes foi dura e insensível, vocês são a razão pra eu querer esse diploma, vocês são a razão pra eu me esforçar pra todo dia acordar e tentar ser um ser humano melhor, não fui o filho dos sonhos mas todo dia me esforço pra ser o melhor filho da nossa realidade. Amo e admiro vocês.

Ao Prof. Davide e Pri, agradeço pela oportunidade de fazer parte da equipe do LAHIMAR, que em meio a necessidade de conseguir um orientador, me acolheram sem nunca me julgar por histórico escolar ou qualquer outra formalidade da qual nunca me esforcei para ser bom exemplo, e isso foi essencial pra me sentir a vontade em um ambiente tão incomum pra mim. Obrigado!

Ninguém me ajudou tanto no TCC quanto a Pri, sua paciência e humor fizeram esse trabalho acontecer, porém durante os campos de coleta tive a ajuda de muitos amigos: Heitor, Gabriel G8, Bigo que reclamou mas ajudou, Lívia, Ademar Mi, Adriano Jorginho que foi pro campo que não deu certo, Ana, Maebara e Atussa que veio da Alemanha pra me ajudar; obrigado a todos por terem se molhado, tomado chuva e sentido frio junto comigo, vocês fazem parte desse trabalho. Agradeço a EPAGRI pelos dados de nível do mar e chuva fornecidos pra realização desse trabalho.

Existiram dois momentos que foram cruciais para que o sonho da formatura continuasse a existir, o primeiro deles teve como protagonista nosso ex-secretário, o Marquinho, muito obrigado por entender certos momentos melhor do que qualquer professor doutor. O outro momento, talvez até mais importante, eu agradeço a minha amiga Natasha, sem sua ajuda eu nunca teria passado por algumas etapas da graduação, você é demais. Parte do meu diploma deveria ter esses dois nomes.

Meu eterno agradecimento a todos amigos da Oceanografia e agregados, sem os momentos vividos nas SNOs minha graduação não teria metade da felicidade que teve, congressos e encontros não são e não devem ser puramente acadêmicos, as trocas que acontecem são imensuráveis e foram inspiradoras para eu continuar a amar a Oceanografia.

Uma pessoa que tem tanta dificuldade com a vida acadêmica, sempre terá muitas pessoas a agradecer que fogem do âmbito acadêmico, por isso deixo aqui alguns nomes que me ouviram falar que queria desistir e tentaram (aparentemente conseguiram) me convencer o contrário: Heitor, Marcus, Vitão, Marcelinho, Maebara, Nicolas, Gab, Isis, Lua, Luana, Hillary, Natasha, Lais, Lucas, Show, Pequi, Japa, Severinho, Amitan, Dudu, G8, Rod, Nivinha, e tantos outros.

Nesse período, algumas pessoas me fizeram ter as melhores experiências no mar e também muitas foram as melhores da vida: Dudu e a Cultura Sub, que me ensinou muito sobre o mar e seus diversos humores, obrigado por todos os mergulhos, pescarias e obras que só agente tinha coragem de aceitar; Zuca, obrigado por ser minha primeira dupla oficial de mergulho, muitos momentos inesquecíveis no Xavier; Heitor, que me ensinou a sorrir mais e me colocou no meu primeiro outside; Marcus, que teve a paciência de me acompanhar e ensinar a surfar; toda a tripulação do Ciências do Mar 1, que fizeram com que eu me reapaixonasse pela oceanografia; e Acquanauta, por confiar no meu trabalho e tornar a operação tão cansativa em algo leve e engraçado.

Também gostaria de deixar um sincero agradecimento a todas pessoas que moraram comigo durante esse período: galera da RRT, que acolheram um jovem revoltado; Lama e Sal, que me trouxe grande amadurecimento; Rod e Vanessa, por acolher várias pessoas no lar de vocês; Nicolas, por ser uma das pessoas mais fáceis de ser conviver que eu já tive o prazer de dividir um teto; molecada da Fortala, que foram uma família e irei levar pro resto da vida como um dos melhores lugares e pessoas com quem já morei; Lua e Ísis, por me receber na sala da minha casa preferida do Campeche; Nivinha, por também me receber no seu lar e me proporcionar as risadas e comidas mais gostosas da ilha; e, Bigo, Ian e Luquinha, por fazerem o secret bay ser um lar pra nós.

Por fim, agradeço a vida, por ser tão maravilhosa comigo em meio a um mundo tão desigual, em meio a tantas dificuldades que já esbarrei, me considero privilegiado por viver bem, me alimentar bem e estar cercado de pessoas maravilhosas.

Voltei

Mais uma vez voltei pra teus braços

Tenho corpo fechado

Minha vida é o mar

(Academia da Berlinda, 2016)

RESUMO

O conhecimento sobre as trocas entre águas superficiais e águas subterrâneas é de essencial importância para compreensão do ciclo hidrológico, possibilitando melhor avaliação dos efeitos de atividades antrópicas em aquíferos, rios, lagos e outros corpos d'água. A Lagoa da Conceição é uma laguna costeira com apenas uma ligação com o oceano aberto. O presente trabalho utilizou o método de baixo custo, *seepage meter*, para realizar a quantificação dos fluxos de água subterrânea na região leste da laguna. E assim, relacionar a descarga de água subterrânea com os níveis internos e externos da laguna, e, também, com a pluviosidade no período da coleta. A seção Beco Dos Coroas (BDC) apresentou maior fluxo infiltrante, com média igual -8,67 cm/dia, enquanto a seção Camping (CAM), -1,36 cm/dia. Foi identificada a existência de gradientes latitudinais e longitudinais na laguna, aumentando a compreensão sobre os fluxos subterrâneos da região e sua dinâmica com as variações do nível do oceano.

Palavras-chave: Água subterrânea, descarga de água subterrânea, laguna costeira, *seepage meter*.

ABSTRACT

The knowledge about surface water and groundwater interaction is important to understanding the hydrological cycle, enabling a better assessment of effects of anthropogenic activities on aquifers, rivers, lakes and others water resources. Conceição Lagoon is a coastal lagoon with only one connection to the open ocean. This study used low cost methods to quantify the groundwater flows in the eastern region of a coastal lagoon and thus relate the groundwater discharge to de internal and external levels of the lagoon and also the rainfall during de collection period. The Beco dos Coroas section (BDC) presented the highest infiltrating flow, with an average of -8,67 cm/day, while the Camping section (CAM), -1,36 cm/day. Latitudinal and longitudinal gradients have been identified in the lagoon, increasing understanding of the region's groundwater flows and their dynamics with variations in ocean level.

Keywords: Groundwater, coastal lagoon, *seepage meter*.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Interação entre a água subterrânea e superficial em corpos hídricos. . Erro! Indicador não definido. | |
| Figura 2 - Divisão da bacia hidrográfica e localização das seções amostrais. | 23 |
| Figura 3 – Transecto dos perfis topobatimétricos. | 24 |
| Figura 4 - Perfis topobatimétricos das seções amostrais destacando a DAS média... | 25 |
| Figura 5 - Fluxograma da quantificação e avaliação dos aportes de águas subterrâneas na área leste da Lagoa da Conceição. | 26 |
| Figura 6 - Seepage meter. (Adaptado de Kern, 2018)..... | 28 |
| Figura 7 - Régua instalada no trapiche. | 29 |
| Figura 8 - (A) Distribuição do nível do mar entre janeiro de 2017 e outubro de 2019; (B) distribuição do nível do mar no período de coleta. Erro! Indicador não definido. | |
| Figura 9 - Gráfico de nível relativo do oceano e nível relativo interno com destaque para as datas de coleta de nível relativo interno. | 32 |
| Figura 10 - Gráfico de correlação entre o nível externo e o nível interno da laguna. | 33 |
| Figura 11 - Gráfico de precipitação no período de coleta. | 33 |
| Figura 12 - Gráfico de pluviosidade mensal no período de coleta e na série histórica. | 34 |
| Figura 13 - Boxplot da DAS de cada seção amostral..... | 37 |
| Figura 14 - Gráfico boxplot das DAS por seepage instalado por ponto..... | 38 |
| Figura 15 - Gradiente latitudinal de DAS na LC..... | 39 |
| Figura 16 - Gradiente longitudinal de DAS na LC. | 40 |
| Figura 17 - Gráfico de dispersão de DAS por coleta. | 41 |
| Figura 18 - Correlação entre DAS e nível interno..... | 42 |
| Figura 19 - Gráfico de dispersão de nível relativo e DAS..... Erro! Indicador não definido. | |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Dados históricos de chuva em Florianópolis. Fonte: EPAGRI 2007..... | 35 |
| Tabela 2 - Estatísticas descritivas de DAS..... | 36 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

BDC Beco Dos Coroas (Ponto 1 da Seção Amostral)

BDC_1 *Seepage meter* Beco dos Coroas 1

BDC_2 *Seepage meter* Beco dos Coroas 2

BDC_3 *Seepage meter* Beco dos Coroas 3

BDC_4 *Seepage meter* Beco dos Coroas 4

CAM Camping do Rio Vermelho (Ponto 2 da Seção Amostral)

CAM_1 *Seepage meter* Camping 1

CAM_2 *Seepage meter* Camping 2

CAM_3 *Seepage meter* Camping 3

CAM_4 *Seepage meter* Camping 4

CIRAM Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina

CDC Costa da Cachoeira

CRV Costa do Rio Vermelho

DAS Descarga de Água Subterrânea

EPAGRI Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina /

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LC Lagoa da Conceição

PDA Ponta das Almas

URH Unidade de Resposta Hidrológica

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|--------------------------------------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 15 |
| 1.1 | OBJETIVOS..... | 16 |
| 1.1.1 | Objetivo Geral..... | 16 |
| 1.1.2 | Objetivos Específicos..... | 16 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 17 |
| 2.1 | ESTUÁRIOS E LAGUNAS COSTEIRAS..... | 17 |
| 2.2 | CICLO HIDROLÓGICO..... | Erro! Indicador não definido. |
| 2.3 | FLUXO SUBTERRÂNEO..... | 18 |
| 2.4 | INTERAÇÃO ENTRE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E ÁGUAS SUPERFICIAIS Erro! Indicador não definido. | |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 22 |
| 3.1 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... | 22 |
| 3.1.1 | Seções de monitoramento..... | 23 |
| 3.1.2 | Batimetria..... | 24 |
| 3.2 | QUANTIFICAÇÃO DE DAS (DESCARGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEA)... | 25 |
| 3.2.1 | <i>Seepage meter</i> | 27 |
| 3.2.2 | Monitoramento de nível interno e externo da laguna..... | 29 |
| 4 | RESULTADOS..... | 30 |
| 4.1 | nível interno e externo da laguna..... | 30 |
| 4.1.1 | Chuva..... | 33 |
| 4.2 | DAS na área leste da Lagoa da Conceição..... | 35 |
| 4.2.1 | Variabilidade espacial..... | 36 |
| 4.2.2 | Variabilidade temporal..... | 40 |
| 5 | Conclusões..... | 43 |
| 6 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 44 |

1 INTRODUÇÃO

A compreensão dos processos que permeiam a zona costeira tem grande importância e utilidade para diversos aspectos da vida urbana e da conservação do meio ambiente e seus recursos naturais, exploráveis ou não (RUDORFF, 2005). Lagunas costeiras são uma extensão do ambiente marinho, ligadas ao oceano por um ou mais canais (KJERFVE, 1994; MIRANDA *et al*, 2002). A riqueza de processos envolvidos nestes ambientes influencia desde o transporte e deposição de matéria na zona costeira (KJERFVE, 1986) e a consequente adaptação do ambiente urbano a essa dinâmica territorial, até o transporte de nutrientes entre o continente e oceano em vias subterrâneas (NIENCHESKI *et. al.*, 2007).

A Lagoa da Conceição está situada na Ilha de Santa Catarina, ligada ao oceano por um único canal, constitui um estuário na interface continente/oceano. Os estuários são caracterizados por serem zonas de transição entre zonas oceânicas e fluviais, portanto, possuem uma grande biodiversidade. A complexidade dos processos presentes no ambiente estuarino o torna sensível às pressões antropogênicas (GODOY, 2009).

Nessa conjuntura, faz-se necessário o estudo dos parâmetros hidrológicos da Lagoa da Conceição, tal como a compreensão de aportes ou saídas de água em vias subterrâneas. Estudos anteriores afirmam que a descarga de água subterrânea (DAS) pode representar uma parte significativa do abastecimento do estuário e da zona costeira, tal como, influenciar significativamente os ciclos biogeoquímicos do sistema (NIENCHESKI *et. al.*, 2007; ROCHA, 2014).

Para o presente trabalho, foi escolhido uma metodologia de baixo custo e de fácil reprodução. O seepage meter foi escolhido por fazer medições diretas do fluxo, sem necessitar de medidas da permeabilidade do sedimento do estuário (LEE, 1977). O método também tem a vantagem de coletar uma amostra de água que pode ser usada para análises físico-químicas da água dos fluxos subterrâneos (LEE & CHERRY, 1978). Os piezomanômetros, também são um método de baixo custo para medir fluxo subterrâneo, estes, por sua vez, não realizam uma medida direta, é necessário ter conhecimento da condutividade hidráulica do local (ROSENBERRY, 2008).

Trabalhos anteriores realizados por Niencheski *et al* (2007), na Lagoa dos Patos, localizada no estado do Rio Grande do Sul, apontam variações nos valores de DAS, e consideram que o transporte via águas subterrâneas e o ciclo da água via sedimentos permeáveis

são complexos, e potencialmente importantes para a disponibilização de nutrientes do que inicialmente avaliados. Com base nisto, o Laboratório de Hidráulica Marítima vem estudando para compreender cada vez melhor a hidrodinâmica da Lagoa da Conceição, e este trabalho é uma pequena parte desse estudo.

1.1 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste TCC.

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar os aportes de água subterrânea da região leste da Lagoa da Conceição, Florianópolis/SC.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Quantificar os aportes de água subterrânea a partir do método de baixo custo, *seepage meter*.
- Relacionar as variações do nível interno da laguna com à variação do nível externo (oceânico).
- Relacionar os fluxos de água subterrânea com o gradiente hidráulico formado pelas variações de nível interno e externo ao corpo lagunar.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ESTUÁRIOS E LAGUNAS COSTEIRAS

Um estuário é um corpo d'água costeiro semi-fechado que possui uma ligação com o oceano, e através desta, a mistura de água salgada do oceano e da água doce, proveniente da drenagem continental, pode ser mensurada (PRITCHARD, 1967).

Existem diversas formas de classificação para estuários, e uma dessas é através da diferenciação da geomorfologia do estuário, e Kennish (1986) propõe às seguintes divisões: vales alagados, lagunas, fjords e estuários formados por atividades tectônicas.

Os estuários do tipo laguna são isolados do oceano por uma praia barreira composta majoritariamente por areia. As praias ocupam cerca de 10 a 15% de toda linha costeira do planeta. Normalmente, são encontradas em regiões onde a amplitude de maré não ultrapassa 4m. Os estuários do tipo laguna são formados a partir do alagamento da região em eventos de subida do nível do oceano e seu fechamento através de barreiras arenosas podem ter diversos tipos de origem a depender das características do local. (KENNISH, 1986)

De acordo com Pritchard (1967), os processos de mistura e a estratificação da salinidade dentro do estuário são dependentes diretos da geometria, da descarga fluvial, da maré, da salinidade, da circulação oceânica no mar adjacente e do vento que atua remota ou diretamente na região.

Os gradientes longitudinais de salinidade formados pela diluição da água do mar e a descarga fluvial são essenciais para a dinâmica estuarina e para os processos de mistura e transporte que ocorrem no interior do corpo d'água (MIRANDA et al, 2002).

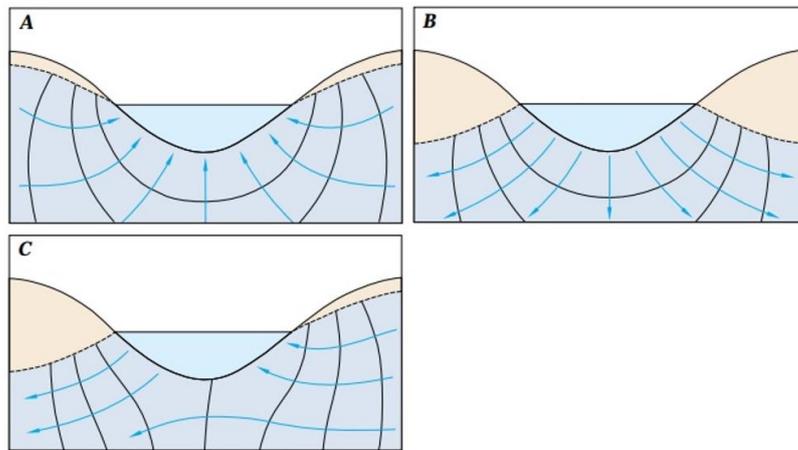
2.2 INTERAÇÃO ENTRE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E ÁGUAS SUPERFICIAIS

A manutenção dos recursos hídricos depende diretamente do estudo da interação entre a água subterrânea e a água superficial, pois representa uma conexão de dois fatores importantes do ciclo hidrológico importantes para o estudo do reabastecimento de aquíferos e na regularização de vazões do escoamento superficial (ARANTES et al, 2006).

De acordo com Winter (1999), o fluxo de água subterrânea é definido pelas condições de contorno imposta pelo quadro fisiográfico e pela distribuição da recarga hídrica.

Lagos, rios e lagunas podem interagir com a água subterrânea de três maneiras básicas: água subterrânea entrando no corpo lagunar através da interface sedimento-água (Figura 1 A), água superficial abastecendo o manancial subterrâneo (Figura 1 B) e água subterrânea entrando em uma região da lagoa e a água superficial infiltrando por outra região (Figura 1 C) (WINTER et al.,1998).

Figura 1 - Interação entre a água subterrânea e superficial em corpos hídricos.



De acordo com Silveira (1997), o ciclo hidrológico é o fenômeno de circulação fechada da água no planeta, que acontece entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à força da gravidade e à rotação da Terra. O conhecimento do ciclo hidrológico é de essencial importância para o estudo e manejo dos recursos hídricos.

Dentro do ciclo hidrológico existem vários processos hidrológicos, como: condensação, precipitação, evapotranspiração, infiltração e percolação (processos verticais); e os escoamentos superficial e sub-superficial (processos horizontais) (KOBAYAMA, 1999).

2.3 FLUXO SUBTERRÂNEO

São chamados de poros os espaços entre os grãos de um depósito sedimentar, e a porosidade é a porcentagem do solo que é um espaço vazio. Para o estudo do fluxo subterrâneo o conceito de porosidade efetiva é definida como a porosidade disponível para o fluxo do fluido, excluindo assim os espaços que não comportam moléculas de água e os que não são

interligados. Sedimentos com maior mistura grãos menos selecionados possuem menor porosidade (FETTER, 2001).

Segundo Fetter (2001) a Lei de Darcy mostra que em meios porosos a vazão específica (Q) é diretamente proporcional a diferença de carga (dh) entre dois pontos próximos e inversamente proporcional a distância (dl) desses mesmos, e também é proporcional à condutividade hidráulica (K) (Equação 1):

Lei de Darcy:

$$Q = -K(dh/dl) \quad (\text{Eq. 01})$$

Onde (dh/dl) é chamado de gradiente hidráulico, se o valor de h1 referente ao ponto 1 for maior que o valor de h2 referente ao ponto 2, então o fluxo percorre do ponto 1 para o ponto 2.

O coeficiente K é denominado como condutividade hidráulica, e tem unidades de metros por segundos [m/s] (Equação 2):

$$K = -q/A(dh/dl) \quad K = -[m^3/s]/[m^2[m/m]] = [m/s] \quad (\text{Eq. 02})$$

O fator Q é chamado de vazão específica ou velocidade de Darcy, e é o resultado do quociente da vazão (q) pela área da seção (A) (Equação 3):

$$Q = q/A \quad Q = [m^3/sm^2] = [m/s] \quad (\text{Eq. 03})$$

O parâmetro Q não representa a velocidade real do fluxo, pois leva em conta os espaços sólidos da seção A, que bloqueiam o fluxo na seção. O valor da velocidade real do fluxo pode ser obtida multiplicando a área da seção pela porosidade efetiva (η), logo, a equação da velocidade real (Qr) (Equação 4):

$$Q_r = q/\eta A \quad (\text{Eq. 04})$$

A porosidade efetiva não possui unidade, pois é resultado da divisão entre o volume de água drenado pela gravidade em uma amostra de um meio poroso saturado e o volume total (Equação 5):

$$\eta = \text{volume liberado} / \text{volume total} \quad \eta = v/v = 1 \quad (\text{Eq. 05})$$

A transmissividade (t) de um aquífero também é um fator importante para o seu estudo, e pode ser definido como a quantidade de água que pode ser transportada horizontalmente por unidade de volume de uma pela largura do aquífero que é totalmente saturada, e é obtida através da expressão (Equação 6):

$$t = bK \quad (\text{Eq. 06})$$

Onde b é a largura saturada do aquífero e K é a condutividade hidráulica.

O armazenamento específico (S_s) de um meio pode ser definido como a quantidade de água expelido (V_w) de uma unidade de volume do meio saturado a cada unidade de variação da carga hidráulica (dh) e a cada unidade de volume do meio (V_t) (Equação 7):

$$S_s = dV_w / (dh \cdot V_t) \quad (\text{Eq. 07})$$

2.4 SEEPAGE METER

A descarga de água subterrânea já foi estimada utilizando diversos métodos, como: *seepage meter*, utilizado por Lee (1977) e Shaw & Prepas (1990); Mini-Piezômetros, utilizado por Lee (1979); Geotraçadores, utilizados por Burnett *et al.* (2006) e Ferreira *et al.* (2017); modelagem numérica, utilizada por Smerdon *et al.* (2007); e sensoriamento remoto, utilizado por Anderson *et al.* (2013).

Dos vários métodos já utilizados para quantificação de fluxos subterrâneos, o escolhido para este trabalho foi o *seepage meter*. Os *seepages* são infiltrômetros que quantificam diretamente o fluxo através da interface sedimento-água (KERN, 2019). Os *seepage meters* foram desenvolvidos por Israelsen & Reeve (1944) para medir perdas de canais

de irrigação e seu projeto foi modificado para medir a descarga de águas subterrâneas em lagos por Lee (1977).

Os *seepage meters* são relativamente baratos e fornecem dados de direção de fluxo, taxa e variabilidade. Por ter baixo custo, também permitem maior número de pontos nas seções amostrais, aumentando a confiabilidade dos dados (LEE, 1977).

Uma das vantagens da utilização do *seepage meter* é que o método não necessita da medida da condutividade hidráulica do sedimento presente na área a ser estudada, o que facilita as amostragens quando há vários pontos de coleta ou quando a característica sedimentar varia entre os pontos de coleta (KERN *et al.*, 2018).

O funcionamento do equipamento se dá pelo isolamento de uma área da interface sedimento-água através da instalação de um tambor cilíndrico cortado aberto na base e uma bolsa coletora acoplada a parte superior do tambor. A variação do volume de água na bolsa coletora indica a direção do fluxo, o aumento do volume significa que o fluxo é da água subterrânea em direção ao corpo d'água, e a diminuição do volume indica que o fluxo é do corpo hídrico para o aquífero.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Laguna da Conceição está localizada na região sul do Brasil, mais especificamente na porção centro/leste da ilha de Santa Catarina (FONSECA *et. al.*, 2002). Segundo Knoppers *et. al.* (1984) a laguna possui 13,5 km de extensão no eixo norte/sul, largura máxima de 2,5 km, e profundidade média de 1,7m. Os ventos predominantes na região são da direção sul e no quadrante nordeste, sendo os ventos vindo do sul os mais intensos e os ventos no quadrante nordeste os mais frequentes anualmente (CRUZ, 1998). Os ventos, somados ao ciclo de chuvas e à evaporação são determinantes para a renovação e circulação do sistema lagunar (FONSECA *et. al.*, 2002).

De acordo com a classificação proposta por Kjerfve (1986), ela é considerada uma laguna estrangulada ou semi-fechada. Ela está conectada ao oceano por apenas um canal longo e raso, chamado Canal da Barra.

Bier (2013) setorizou a bacia da Laguna da Conceição em zonas de mesmas características morfométricas e hidrológicas a fim de distinguir os diversos comportamentos hidrológicos da bacia hidrográfica e facilitar a interpretação do espaço físico da Lagoa da Conceição. A área de estudo encontra-se na Unidade de Resposta Hidrológica (URH) Leste, destacada na cor bege na Figura 1, que possui sub-bacias com alta infiltração, devido ao tipo de solo presente (areias quartzóicas e marinhas) e baixa ocupação urbana. A URH representa uma planície litorânea, apresentando baixa declividade da bacia neste setor. Devido a essas características, toda precipitação nesta unidade infiltra no solo, não havendo presença de caminhos preferenciais ou definidos de escoamento superficial (KERN, 2019).

A URH Canal, destacada de marrom claro na Figura 1, próxima a uma das seções de amostragem, é um setor com elevada urbanização, implicando em uma elevada impermeabilização, mesmo que o solo local seja composto por areias marinhas. Todo o escoamento superficial neste setor é descarregado no Canal da Barra da Lagoa, que liga a Lagoa da Conceição com o Oceano Atlântico (KERN, 2019).

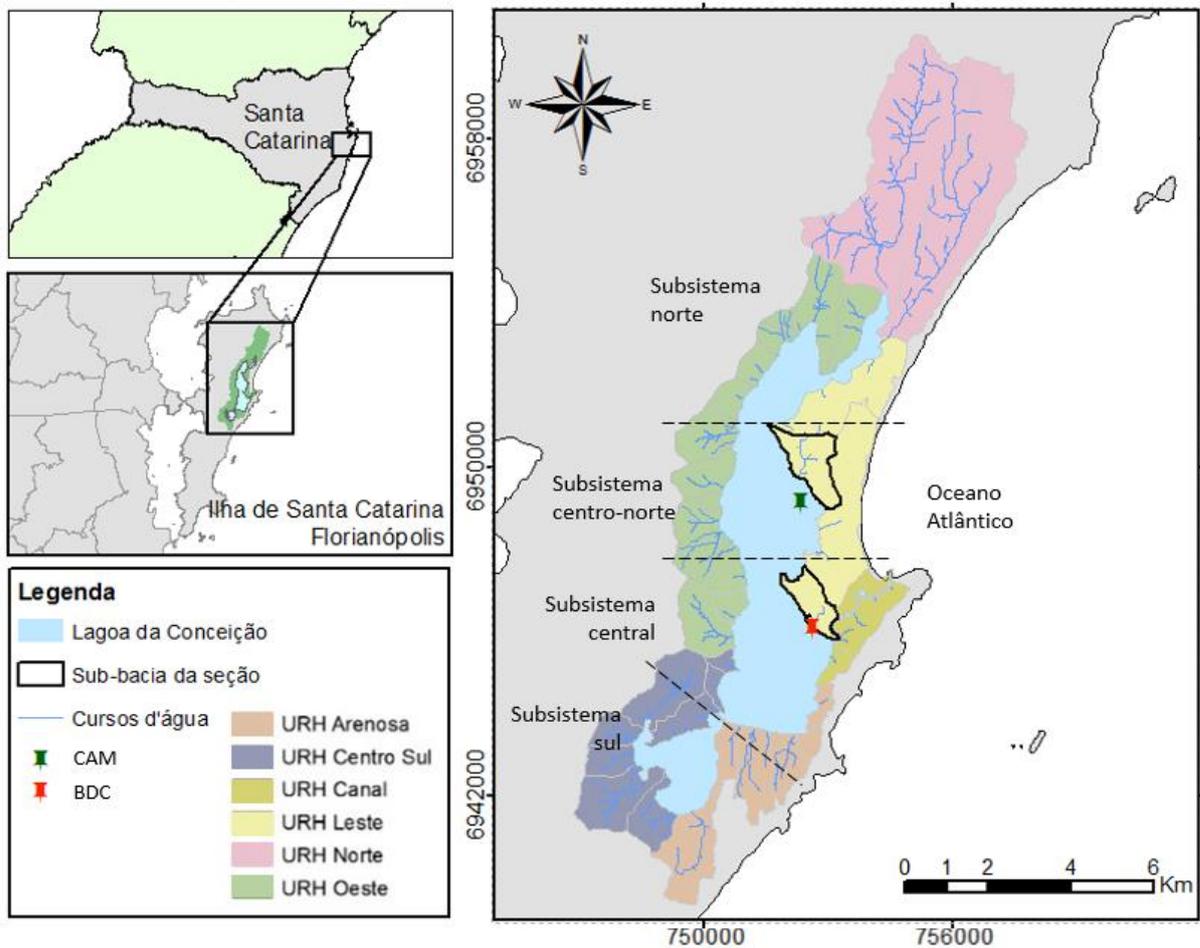
Assim, foram definidos os dois locais para quantificação de fluxo subterrâneo neste estudo: a seção amostral Beco dos Coroas (BDC) (27°35'10.6"S 48°26'26.4"O) fica localizado no Becos dos Coroas, na Barra da Lagoa; e a seção amostral Camping (CAM) (27°33'30.8"S

48°26'38.7"W) tem acesso apenas por uma entrada para pedestres na Rodovia João Gualberto Soares (SC-406), em frente ao Camping do Parque Estadual do Rio Vermelho.

3.1.1 Seções de monitoramento

Para medição do fluxo subterrâneo foram determinadas seções em transecto transversal à margem da laguna. Foram instalados quatro *seepage meters* partindo da isóbata de 50cm, com três metros de distância entre cada um, e, três piezomanômetros ao lado dos três primeiros *seepages* de cada ponto. A Figura 1 ilustra o local das seções de monitoramento, as sub-bacias a montante das seções estão localizadas estão destacadas com contorno preto.

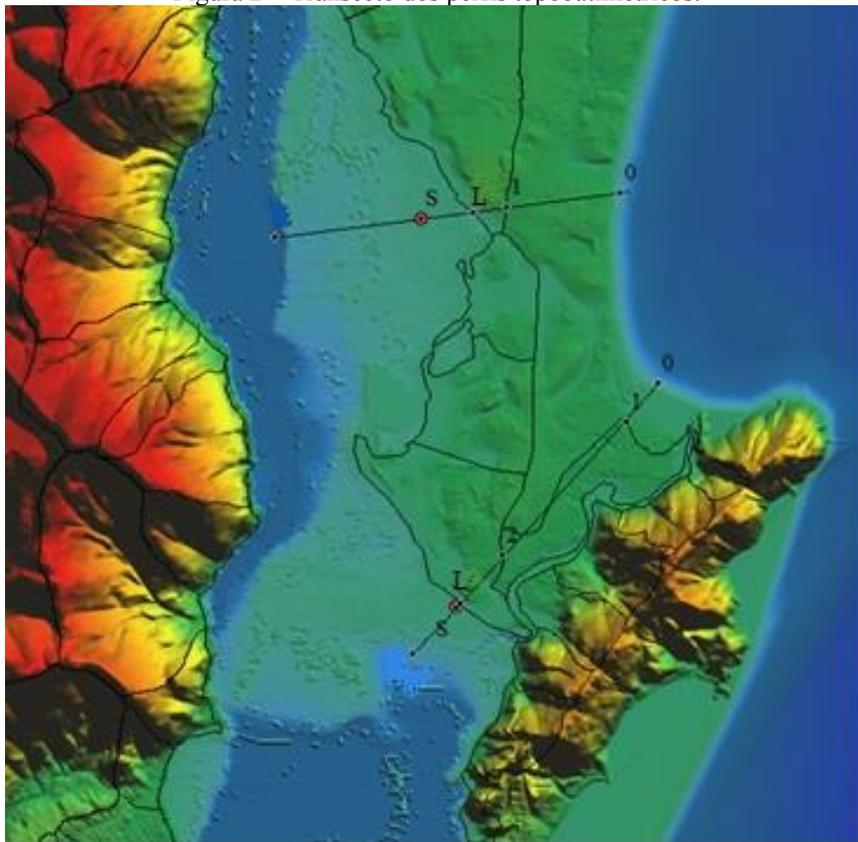
Figura 1 - Divisão da bacia hidrográfica e localização das seções amostrais.



3.1.2 Batimetria

A Figura 2 apresenta transectos topobatimétricos, ambos começam no ponto 0 que está localizado no ponto do oceano mais próximo às seções amostrais, os números (1, 1 e 2) representam fronteiras entre sub-bacias hidrográficas, os pontos L's representam a margem da LC e os pontos S a localização dos *seepage meters*.

Figura 2 – Transecto dos perfis topobatimétricos.

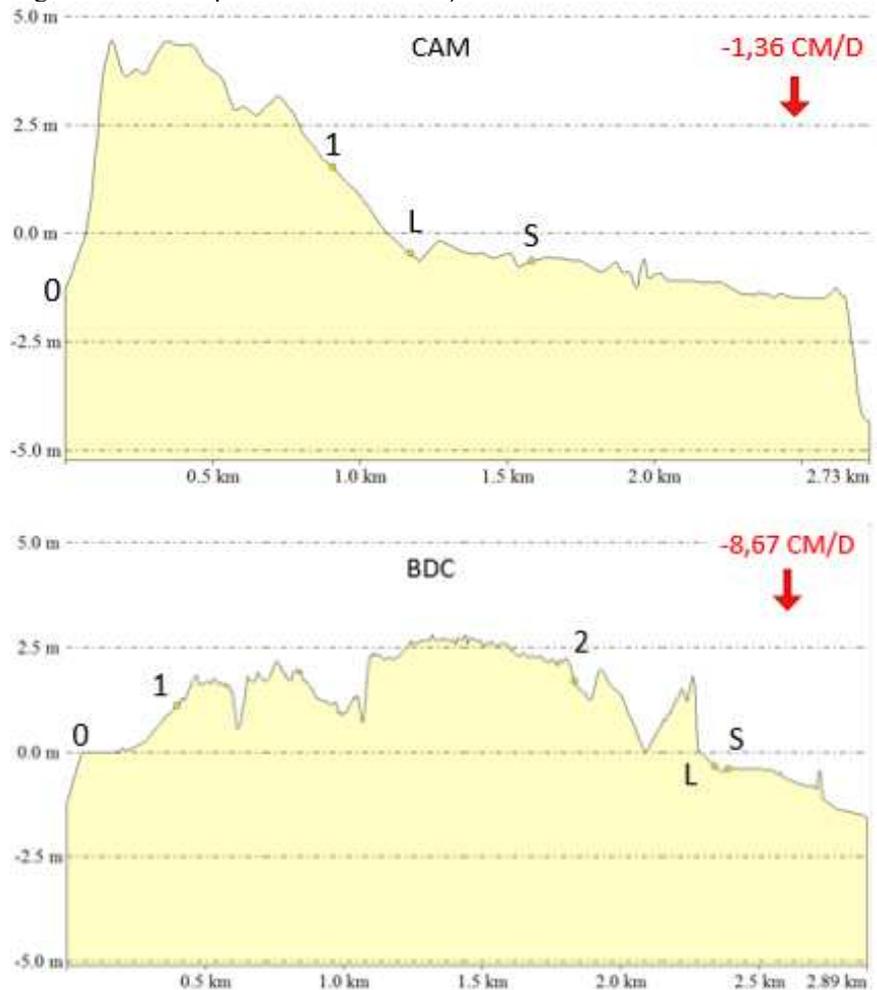


A Figura 3 traz os perfis batimétricos da região das seções amostrais até o oceano adjacente e as médias de descarga de água subterrânea (DAS) de cada seção. Os dados topográficos foram obtidos a partir do modelo digital de elevação fornecidos pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina e a batimetria a partir de dados levantados pelo AEROCONSULT, em 2001, juntamente com dados batimétricos atualizados pelo Lahimar, em 2006.

As duas seções encontram-se na região da bacia caracterizada como planície costeira. A seção CAM, ao norte, apresenta maior elevação na região da barreira arenosa que separa a laguna do oceano, porém, dentro da laguna, é uma região rasa de baixa inclinação, de

aproximadamente 0,1%. A seção BDC, mais próxima ao canal, apesar de ter uma barreira de maior extensão, apresentou menores valores topográficos, e maior inclinação na margem da laguna, aproximadamente 0,23%.

Figura 3 - Perfis topobatimétricos das seções amostrais destacando a DAS média.

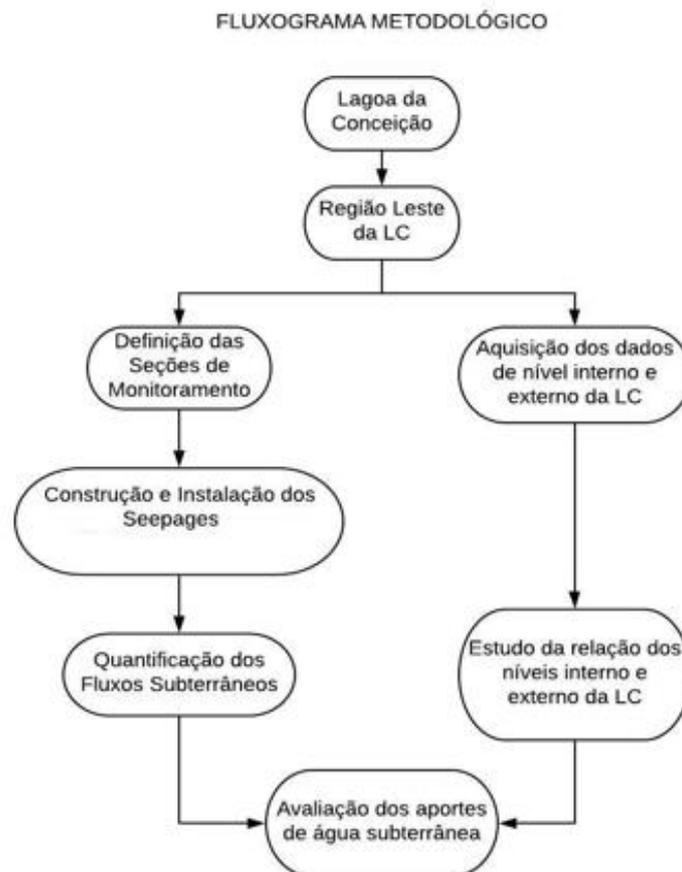


3.2 QUANTIFICAÇÃO DE DAS (DESCARGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEA)

Este estudo, visa avaliar a interação entre águas superficiais e subterrâneas no corpo lagunar, através das descargas de águas subterrâneas e avaliar a influência do nível do mar em tais descargas. A área de estudo foi a região leste da Lagoa da Conceição, por ser a região mais próxima ao oceano, e assim ser possível identificar as interações das variações de nível do mar e sua influência na DAS da laguna.

Em um primeiro momento, foram definidas as seções de monitoramento. Após a definição dos pontos de monitoramento, foram adquiridos materiais para a confecção dos *seepages*. A quantificação dos fluxos subterrâneos em campo foi realizada através das medidas realizadas através do método *seepage meter*. Para avaliar a influência do nível interno da laguna e do nível externo (oceano) foi necessário realizar uma análise dos fluxos e dos níveis. Para tal foram solicitados os dados de nível da EPAGRI/CIRAM. Assim, foi possível realizar um estudo da relação dos níveis e avaliar os aportes de água subterrânea na laguna. A Figura 4 apresenta o fluxograma das metodologias aplicadas na quantificação e avaliação dos aportes de águas subterrâneas na área leste da Lagoa da Conceição.

Figura 4 - Fluxograma da quantificação e avaliação dos aportes de águas subterrâneas na área leste da Lagoa da Conceição.



O primeiro campo foi realizado para encontrar entradas acessíveis a pedestres à laguna, a fim de dispensar o uso de embarcações para a realização das coletas.

Para o presente trabalho, foram escolhidos métodos de baixo custo com eficiência testada por Lee (1977) e adaptados por Arcari (2019) e Kern *et al.* (2018) em outros estudos de DAS. Os *seepage meters* foram instalados na região leste da LC.

Os materiais utilizados para construção dos *seepages* foram comprados em lojas de material de construção, exceto o tambor cilíndrico, que foi adquirido em uma empresa especializada em reutilização de tambores plásticos, localizada na BR-101, Palhoça-SC.

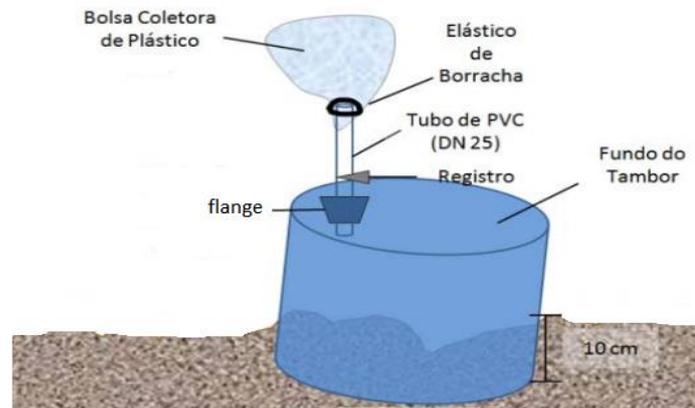
O objetivo do segundo campo foi instalar os equipamentos. Os *seepages* foram os primeiros a serem instalados. Foram posicionados quatro *seepages* em cada ponto, transversalmente à margem da laguna, com 3 metros de distância entre cada um e enterrados com uma inclinação de 3cm de altura (15 cm na lateral do flange e 12 cm na lateral oposta a flange).

Após a instalação, os medidores foram deixados por dois dias parados para que o sedimento do entorno que foi mobilizado pudesse estabilizar. Com isso, foram realizadas 10 coletas entre 29 de agosto de 2019 e 10 de outubro de 2019.

3.2.1 *Seepage meter*

A construção do *seepage meter* tem baixo custo e foram utilizados: uma das extremidades de um tambor cilíndrico (polietileno de alta densidade) de 200 litros com 58,2cm de diâmetro interno, um conjunto flange de PVC com o-ring para vedar o orifício e conectar o tambor ao cano coletor, um registro de PVC para que o coletor possa ser retirado facilmente, o cano coletor de PVC de 25mm, bolsa coletora plástica com volume conhecido e vedada ao cano por uma fita de borracha (Figura 5). A bolsa coletora acoplada ao tambor é a peça mais importante do equipamento, e também a maior fonte de erros de medição.

Figura 5 - Seepage meter. (Adaptado de Kern, 2018)
superfície da água



O *seepage meter* deve ser instalado no sedimento possuindo uma inclinação que direcione o fluxo para o cano coletor, a profundidade que o equipamento deve estar em relação ao fundo varia de acordo com o tipo de sedimento.

Depois de instalado foi necessário deixar de 1 hora a 24 horas (dependendo da natureza do sedimento) para permitir que o sedimento se estabilize nas proximidades do equipamento, após esse intervalo de tempo é possível fazer a primeira medição.

A direção do fluxo foi inferida qualitativamente a partir da variação do volume da bolsa coletora, onde a variação negativa do volume representa que o fluxo está indo da lagoa para o sedimento (infiltração), e a variação positiva representa o fluxo contrário (descarga).

A quantificação do fluxo é dada pela equação $q = \Delta V / \Delta t$, onde q é a taxa de infiltração (L/t), ΔV representa a variação do volume interno da bolsa coletora (volume final subtraído do volume inicial), e Δt o tempo de residência do *seepage* instalado na lagoa. O volume inicial deve ser conhecido.

Durante as coletas dos dados do *seepage meter* foram utilizadas bolsas coletoras de plástico, com 30 cm por 40 cm, foi colocado 1,4 litros de água inicialmente e deixado, em média, por 20 min. O valor da DAS obtido pela variação do volume de água na bolsa coletora dividida pelo tempo e área, corrigido para as unidades apropriadas. Esse valor inicial da DAS, foi multiplicado por um fator de correção médio de 1,14, encontrado experimentalmente por Kern (2019), para compensar a perda de fluxo pelo atrito gerado internamente pelo equipamento, utilizando equipamentos iguais aos utilizados nesse estudo em condições laboratoriais.

3.2.2 Monitoramento do nível interno e externo da laguna

Os dados de nível externo da laguna (nível do oceano) foram fornecidos pela Epagri/Ciram e são referentes ao nível observado pelo marégrafo de Florianópolis, que está localizado na entrada da baía Sul, na Estação Sul da Ilha (27,82°S e 48,57°O). A instituição também forneceu os dados de volume de chuva medido na Estação Meteorológica 1006 (27,59°S e 48,51°O), localizada no bairro Itacorubi, estação mais próxima da laguna.

O monitoramento do nível interno da Lagoa da Conceição foi feito a partir de uma régua instalada na base de um trapiche (Figura 6) localizado na avenida das Rendeiras (27°36'31.8"S 48°26'33.6"W), foram feitas 15 coletas em dias aleatórios entre 9 de agosto e 10 de outubro de 2019.

Os dados de nível do mar horários, foram transformados em dados de nível diários. A partir da média dos níveis do dia, é possível relacioná-las com os dados diários de pluviosidade e com as descargas de água subterrâneas (DAS) medidas.

Figura 6 - Régua instalada no trapiche.

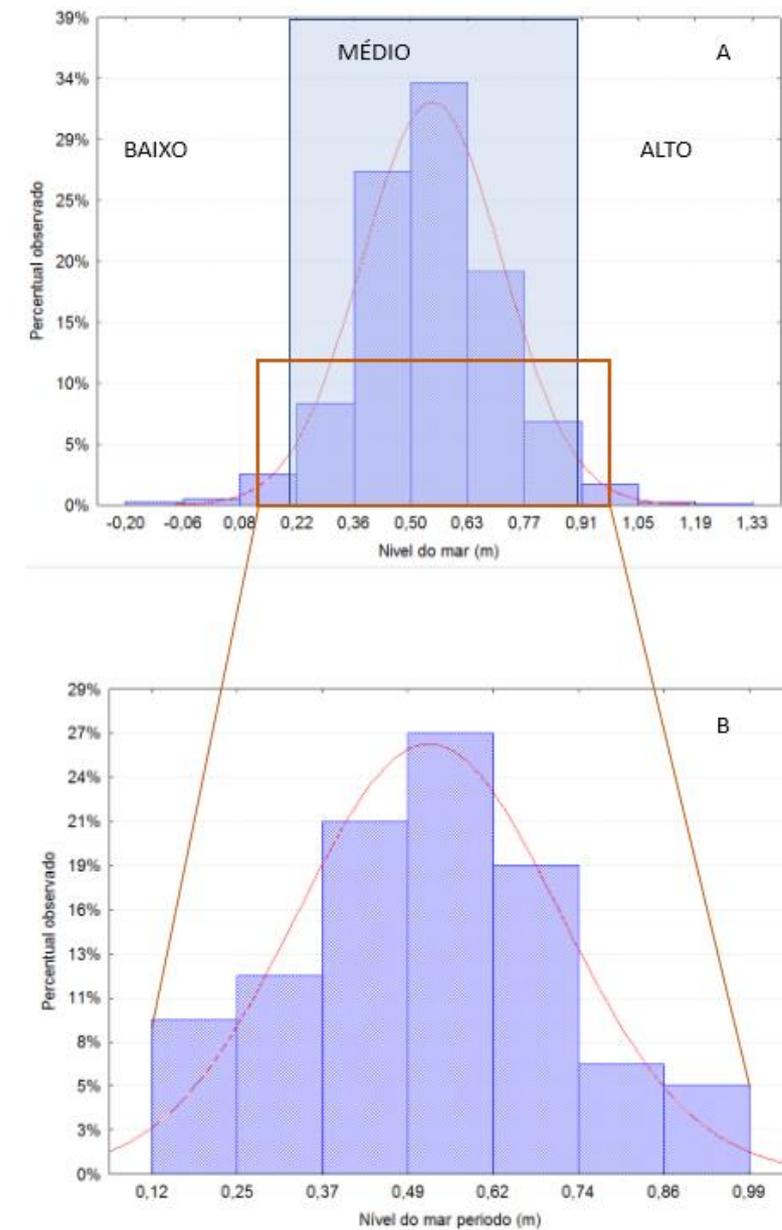


4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 NÍVEL INTERNO E EXTERNO DA LAGUNA

A Figura 8 apresenta o histograma com a distribuição dos níveis do oceano fornecidos pela EPAGRI, de janeiro de 2017 até outubro de 2019 (Figura 8a). Os dados, do período de monitoramento, de agosto de 2019 até outubro de 2019 são apresentados na Figura 8b. O nível médio (m) do período total é de 0,54 m e, o desvio padrão (α) de 0,17 m. Assim, o intervalo de valores médios para o nível do oceano ($m \pm 2 * \alpha$) vai de 0,20 a 0,88 m. O intervalo foi destacado na Figura 8a com um retângulo azulado, os valores acima de 0,88 m foram considerados como níveis acima do nível médio local e os valores abaixo de 0,20 m foram considerados abaixo do nível médio local. Ainda, na Figura 8^a, a caixa da cor laranja em destaque representa o intervalo de valores referentes ao nível do oceano durante o período de coleta dos dados do presente trabalho. A Figura 8b representa a distribuição dos níveis do oceano durante as coletas. Quando sobrepostos aos valores médios do período total dos níveis fornecidos pela EPAGRI, nota-se que o nível apresenta comportamento semelhante ao do período total, apresentando poucos dias com nível acima ou abaixo da variação média.

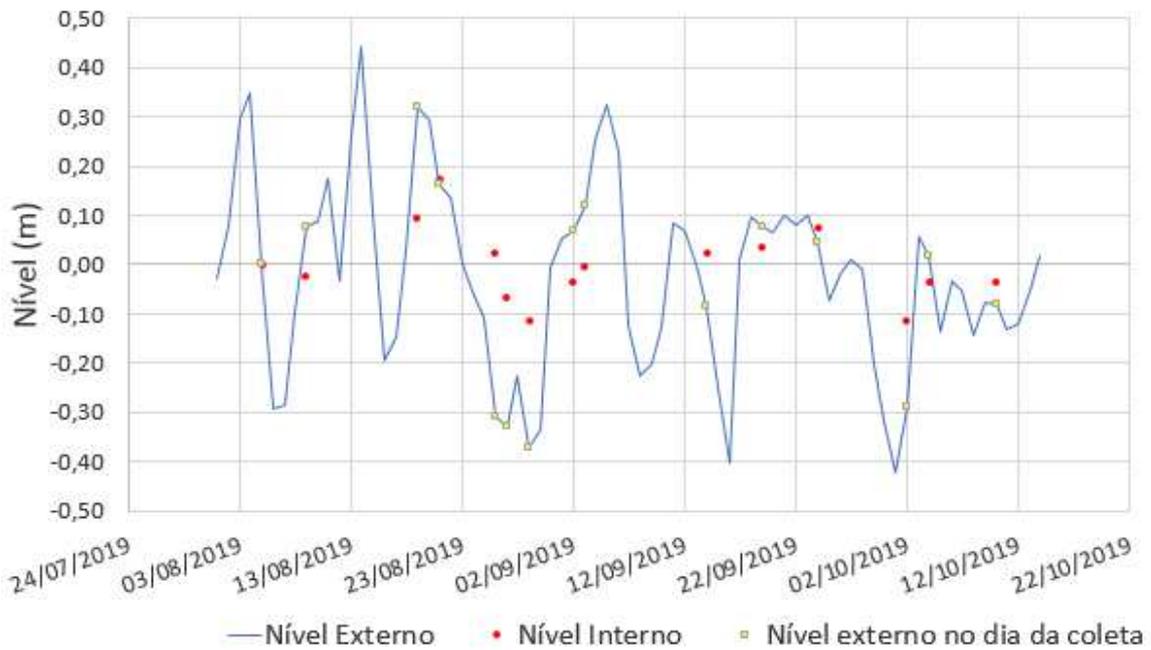
Figura 7 - Distribuição do nível do mar entre janeiro de 2017 e outubro de 2019; (B) distribuição do nível do mar no período de coleta.



Na Figura 8 foram plotados os níveis do mar relativo (nível médio diário menos o nível médio do período, sendo o nível médio o zero relativo) e os níveis internos relativos da laguna (nível diário menos o nível médio do período, sendo o nível médio o zero relativo). Para melhor visualização, foi destacado o nível do mar na mesma data da coleta (quadrados amarelos). O nível interno da laguna, nas datas de coleta, é representado pelos círculos vermelhos. Notou-se que, como esperado, os níveis da LC variaram menos que o nível do mar aberto, como consequência da influência do canal da Barra na diminuição do efeito da maré na laguna.

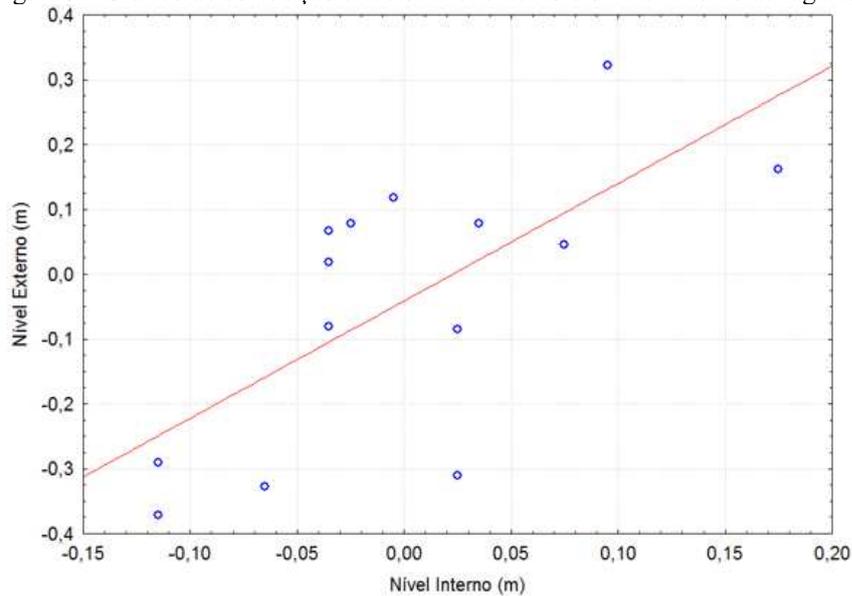
Segundo Andrade (2001), o efeito da maré tem redução de 85% no interior da LC e as elevações máximas na laguna ocorrem com 4 horas de atraso em relação a preamar na entrada do canal.

Figura 8 - Gráfico de nível relativo do oceano e nível relativo interno com destaque para as datas de coleta de nível relativo interno.



A Figura 9 apresenta a correlação entre o nível externo e o nível interno da LC. É importante notar que as variações externas são maiores, variando de 0,44 a -0,42 m, enquanto o nível interno teve variações entre 0,16 e -0,12 m. Por ser um período de seca, a variação da maré observada é o principal fator do balanço hidrológico a controlar o nível interno da laguna.

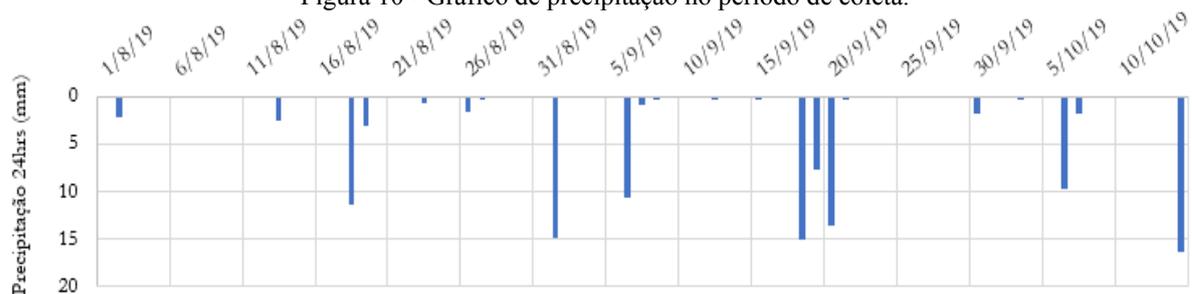
Figura 9 - Gráfico de correlação entre o nível externo e o nível interno da laguna.



4.2 CHUVA

A Figura 10 mostra o volume de precipitação acumulada por dia (mm/dia) para o período de coleta de dados. De 1 de agosto a 14 de outubro de 2019, 75 dias, houve chuva em 22 dias. O maior volume acumulado de chuva durante as coletas, foi de 15 mm, registrado no dia 18 de setembro de 2019.

Figura 10 - Gráfico de precipitação no período de coleta.



A Figura 11 nos permite enxergar a precipitação acumulada mensal de agosto e setembro, e também a pluviosidade dos primeiros 14 dias de outubro do período de coleta e também da série histórica da EPAGRI, setembro foi o mês com maior volume de chuva atingindo 65,2mm, o mês de agosto foi o mais seco, sendo registrado um volume total menor que as duas primeiras semanas de outubro, 21,6mm e 28,4mm respectivamente.

Apesar do mês de setembro ter sido o mais chuvoso, todo o período pode ser considerado seco quando comparado aos dados históricos trazidos pela Tabela 1. A pluviosidade média para o mês de setembro é 117,1 mm, quase o dobro observado no período. O clima no mês de agosto foi ainda mais seco, de acordo com a série histórica da EPAGRI, agosto tem em média 94,3 mm de chuva, 4,3 vezes a mais do que foi registrado neste ano.

A precipitação máxima observada também é bem abaixo da série histórica para o mesmo período, 16,4 mm e 39,6 mm, respectivamente. Apesar do volume de chuva ter sido baixo, a quantidade de dias com chuva foi parecida com a série histórica. Agosto e setembro somaram 19 dias de chuva, e a média histórica é de 20,7 dias, para o mesmo período.

Figura 11 - Gráfico de pluviosidade mensal no período de coleta e na série histórica.

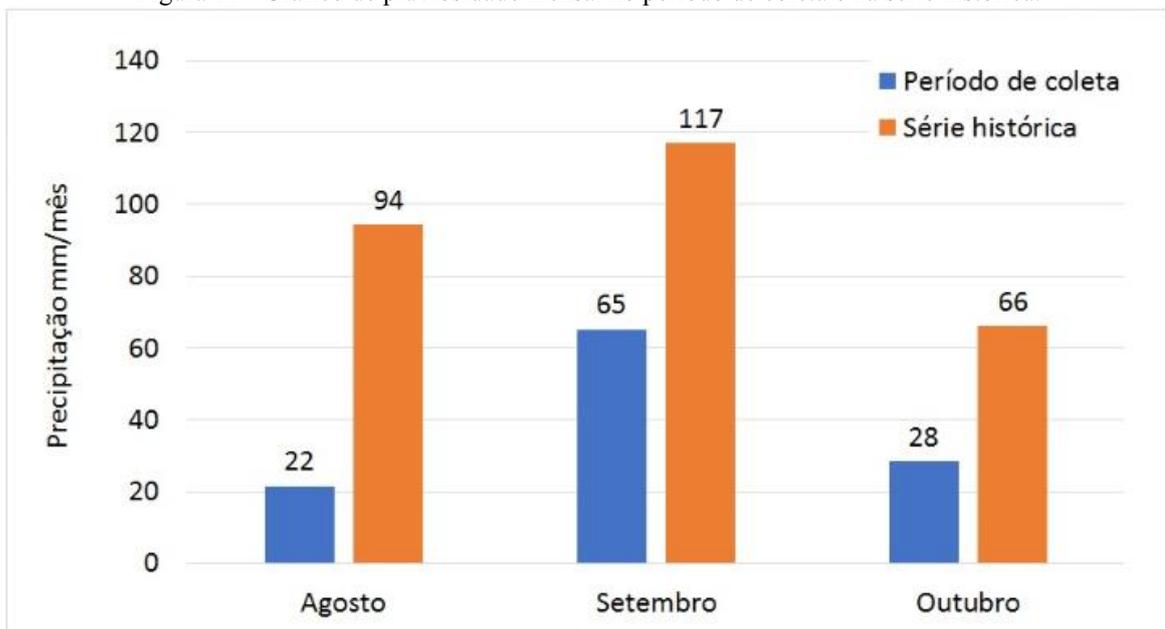


Tabela 1 - Dados históricos de chuva em Florianópolis.

| Meses | Prec. Total (mm) | Prec.Mx em 24h (mm) | Dias de Chuva (no.) |
|-------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| Jan. | 196.7 | 56.8 | 14.8 |
| Fev. | 186.7 | 58.8 | 14.6 |
| Mar. | 170 | 52.8 | 14.2 |
| Abr. | 128.8 | 40.2 | 11.2 |
| Mai. | 107.2 | 46.5 | 8.9 |
| Jun. | 85.2 | 29.5 | 8.4 |
| Jul. | 82.6 | 30 | 8.8 |
| Ago. | 94.3 | 32 | 9.1 |
| Set. | 117.1 | 37.6 | 11.6 |
| Out. | 132.4 | 39.6 | 12.8 |
| Nov. | 131.8 | 46.5 | 12.5 |
| Dez. | 141.9 | 46.3 | 13.1 |
| Anos Obs | 90 | 70 | 62 |

Fonte: EPAGRI 2007

Com o clima tão seco, não foi possível associar os eventos de chuva aos valores de DAS. Neste período o nível interno da LC respondeu quase exclusivamente as variações do nível do mar causadas pela maré astronômica e meteorológica.

4.3 DAS NA ÁREA LESTE DA LAGOA DA CONCEIÇÃO

A Tabela 2 apresenta os valores de número de coletas (N), média de DAS (cm/dia), erro padrão da média, mediana, valores mínimos e máximos de cada seção amostral comentada nessa seção do trabalho. Todas as médias de fluxo foram negativas, o que mostra o padrão infiltrante do fluxo subterrâneo da laguna. A maior média e o fluxo mais intenso vieram da seção BDC. A seção também apresentou o maior erro padrão da média. Exceto BDC, os desvios padrões tiveram pouca variação entre as seções. Apesar de as médias serem todas negativas, todas as seções tiveram valores positivos de DAS em pelo menos uma coleta, sendo a seção costa do Rio Vermelho (CRV) a com o menor valor máximo, 1,30 cm/dia. As seções Ponta das

Almas (PDA), costa do Rio Vermelho (CRV) e costa da cachoeira (CDC) tiveram seus dados obtidos por Kern (2019).

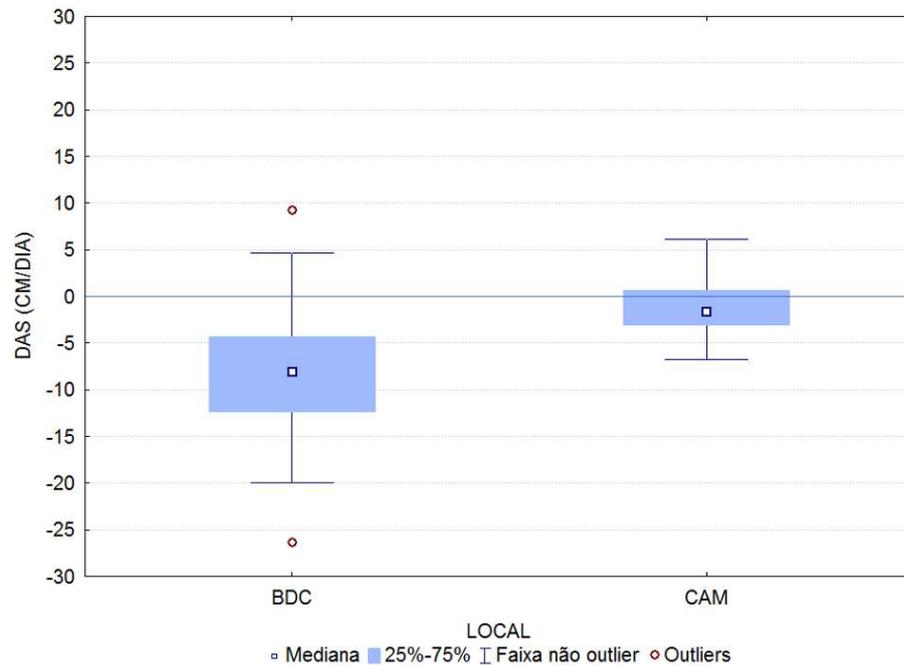
Tabela 2 - Estatísticas descritivas de DAS.

| | N | Média | Erro Padrão da média | Mediana | Mínimo | Máximo | Desvio Padrão |
|-----|----|-------|----------------------|---------|--------|--------|---------------|
| BDC | 37 | -8,67 | 1,09 | -8,30 | -26,35 | 9,22 | 6,62 |
| CAM | 29 | -1,36 | 0,59 | -1,84 | -6,76 | 6,15 | 3,18 |
| PDA | 40 | -2,01 | 0,56 | -2,03 | -11,01 | 5,14 | 3,56 |
| CRV | 36 | -3,07 | 0,45 | -2,61 | -11,38 | 1,30 | 2,68 |
| CDC | 28 | -1,11 | 0,39 | -1,20 | -4,65 | 4,54 | 2,08 |

4.3.1 Variabilidade espacial de DAS

A Figura 13 mostra a variação total da DAS em cm/dia por seção amostral (BDC e CAM). É possível notar que existe uma variação espacial entre as duas seções amostrais. Na primeira seção, BDC, fluxo é predominantemente negativo (da lagoa para o aquífero) e possui maior intensidade de fluxo. É possível observar (Figura 13) que mais de 75% das amostras, da seção BDC, apresentam valores negativos, pois a caixa do *boxplot* encontra-se abaixo da linha referente à descarga igual a zero cm/dia. O *outlier* positivo foi excluído na análise, pois foi observado que grandes valores positivos ocorriam quando havia furos ou cortes na bolsa coletora. Além disso, os outros *seepages*, da seção, observados no dia não apresentaram valores tão altos de DAS. A seção CAM apresentou fluxos menos intensos, e com menor variabilidade, o que pode ser observado pelo tamanho da caixa. Os valores se alternam entre positivos e negativos, concentrando seus valores de DAS entre -6,74 e 6,15 cm/dia, menor que do primeiro ponto. Também houve mais resultados de fluxos positivos, o que mostra que o ponto apresentou uma maior dinâmica na interação entre as águas superficiais e subterrâneas.

Figura 12 - Boxplot da DAS de cada seção amostral.

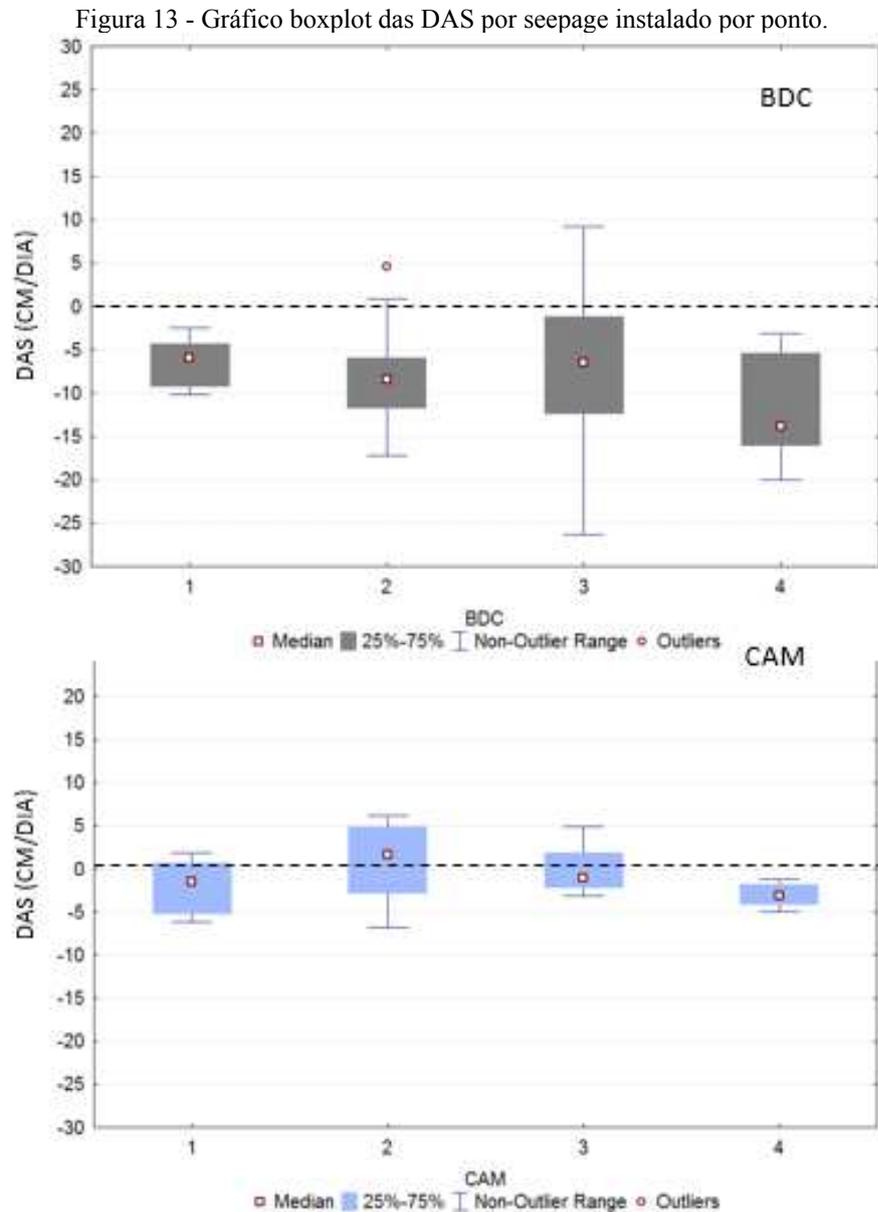


A Figura 13 apresenta o *boxplot* da variação das DAS por *seepage* de cada seção em relação à margem. A numeração representa sua ordem em relação à distância da margem da LC. Os *seepages* BDC_1, e o CAM_1, os mais próximos da margem de suas respectivas seções de coleta e o BDC_4 e o CAM_4 os mais distantes.

A primeira seção, BDC, apresenta um aumento de intensidade do fluxo negativo, em direção ao meio da laguna. Em relação à variabilidade dos dados, também ocorre um aumento em direção ao centro da laguna, que é visível pelo aumento das caixas dos *seepages* BDC_3 e BDC_4. O aumento do fluxo também fica visível quando nota-se que a mediana do *seepage* BDC_4 está abaixo do limite inferior do *seepage* BDC_1. Ou seja, mais da metade das medidas feitas no *seepage* BDC_4 possuem fluxos mais intensos que o maior fluxo negativo medido no *seepage* BDC_1.

As variações na segunda seção amostral foram menores que na primeira seção. Nota-se uma variação na direção do fluxo. Apenas o *seepage* CAM_4 não apresentou valores de fluxo positivo nessa seção. Na seção BDC, os fluxos foram predominantemente negativos. Os baixos valores de DAS, obtidos nessa seção, podem estar relacionados com a batimetria local. É uma região rasa e que possui declividade inferior a 0,1%. Devido a isso, os *seepages* foram

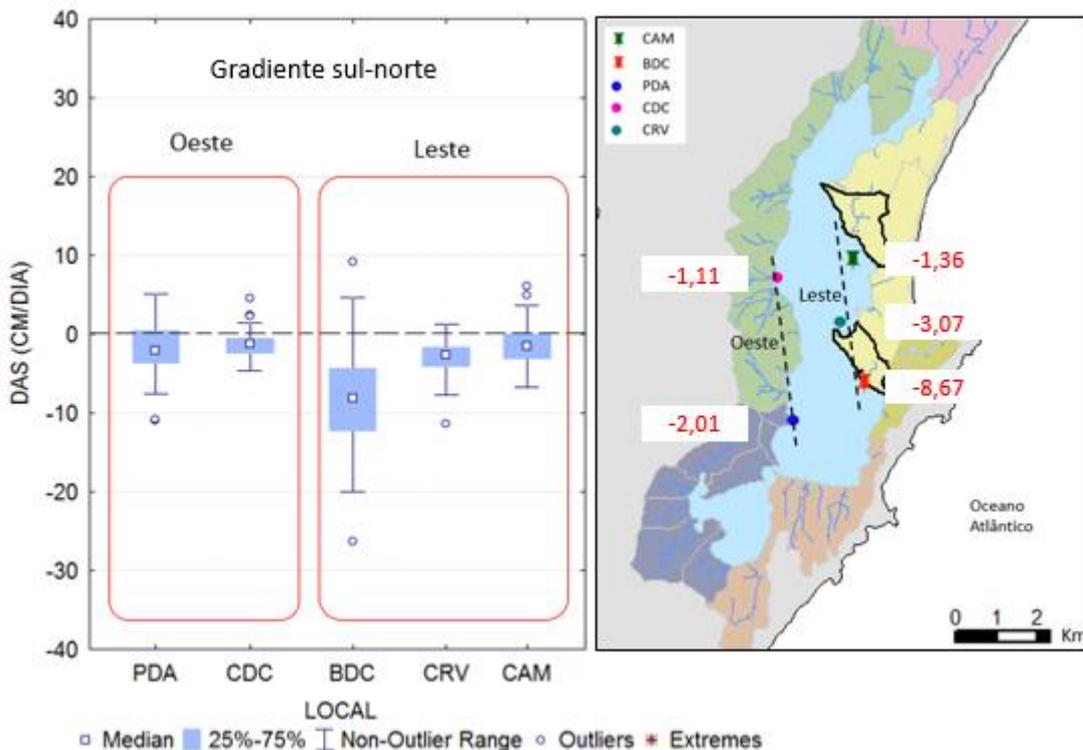
instalados a 180m da margem, para que a profundidade fosse suficiente pra realização das coletas. Diferente da primeira seção que os *seepages* estão a menos de 30m da margem.



A Figura 14 nos permite visualizar o gradiente latitudinal da DAS formado na região central da LC, com os dados de Kern (2019) e os dados do presente trabalho. É possível identificar o gradiente nas duas margens da laguna. Na margem oeste, os fluxos tiveram menor amplitude, mas mantiveram a mesma direção predominante do fluxo, negativo. Na margem leste da LC foi possível observar o gradiente a partir de três seções amostrais, do sul para norte: BDC, CRV e CAM. A seção BDC foi a que apresentou maior intensidade de fluxo médio

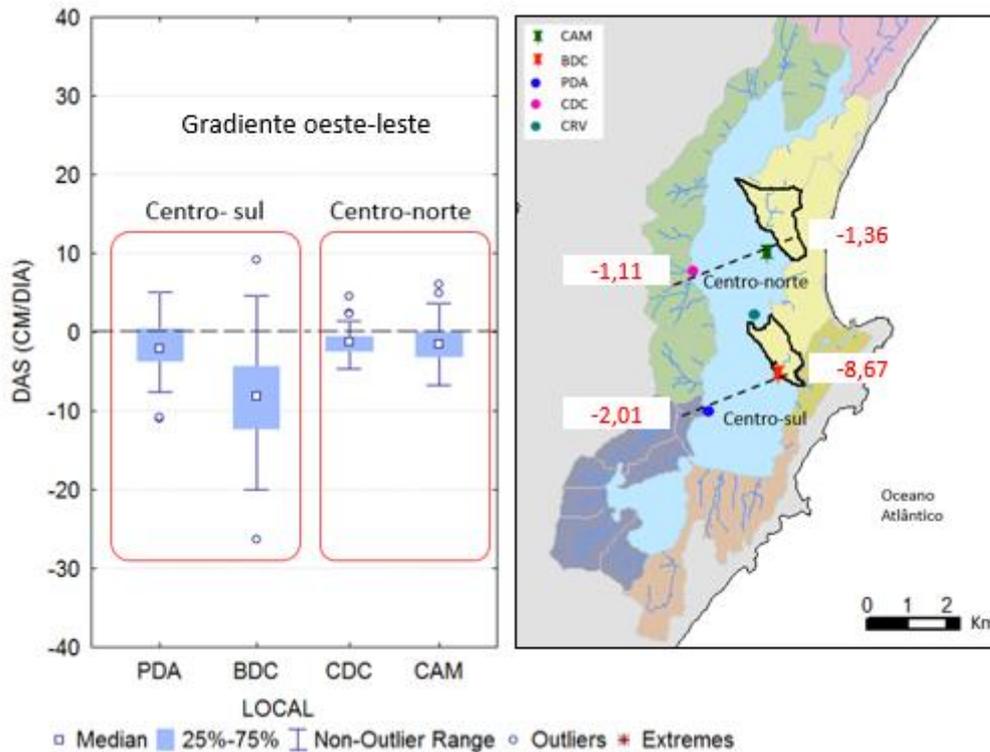
(-8,67 cm/dia) e também maior amplitude. Ambas margens tiveram valores maiores de DAS na região central da laguna, diminuindo na direção norte. Esse comportamento deve-se ao aumento do volume d'água na região da seção BDC causada pelo aporte de água que chega pelo canal, e que diminui na direção norte a medida que esse montante de água se espalha, esse fenômeno pôde ser observado pelo trabalho de Silva (2010), que estimou as variações de nível e as correntes internas da laguna.

Figura 14 - Gradiente latitudinal de DAS na LC.



A Figura 15 apresenta o gradiente longitudinal de DAS formado nas regiões central e centro-norte da laguna. O gradiente centro-sul teve maior diferença entre as médias de DAS das seções. A menor intensidade e a conseqüente menor diferença entre as médias de DAS no gradiente centro-norte é explicado pelo gradiente latitudinal formado na laguna. A diferença de fluxo entre a margem mais próxima do oceano e a margem mais próxima da encosta já foi observada por Rocha (2015), em estudo realizado em lagunas do norte do estado do Rio Grande do Sul.

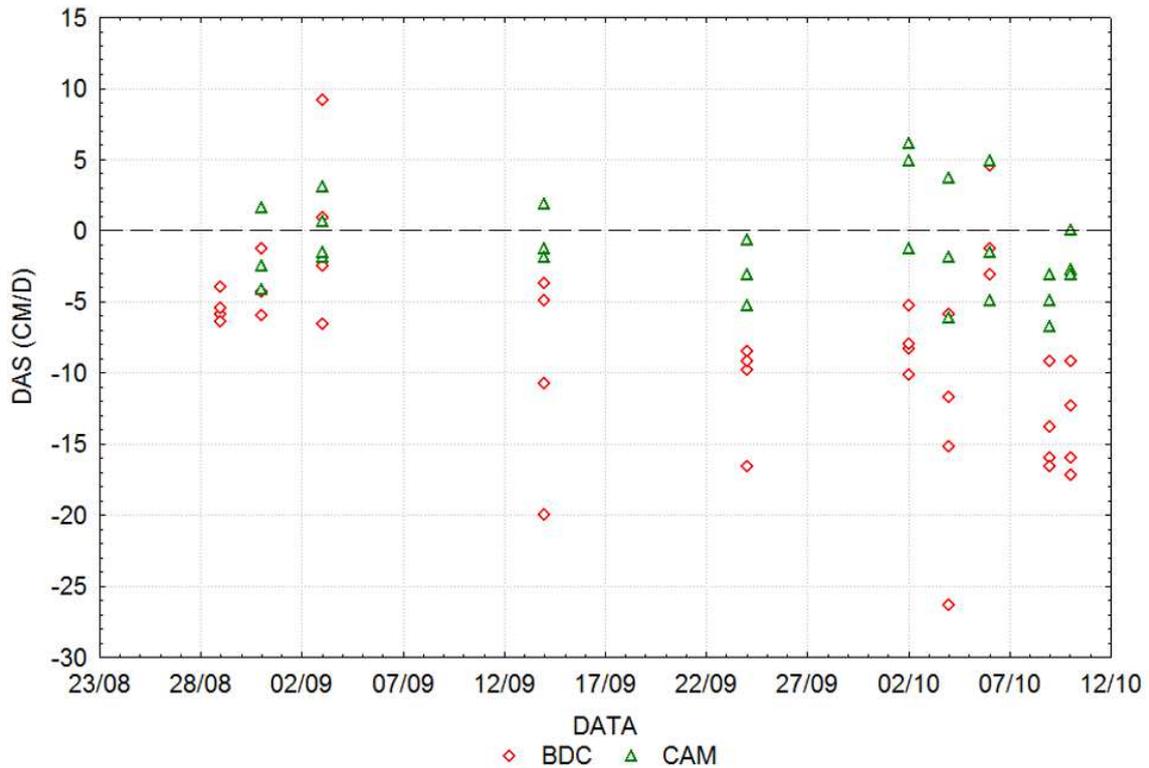
Figura 15 - Gradiente longitudinal de DAS na LC.



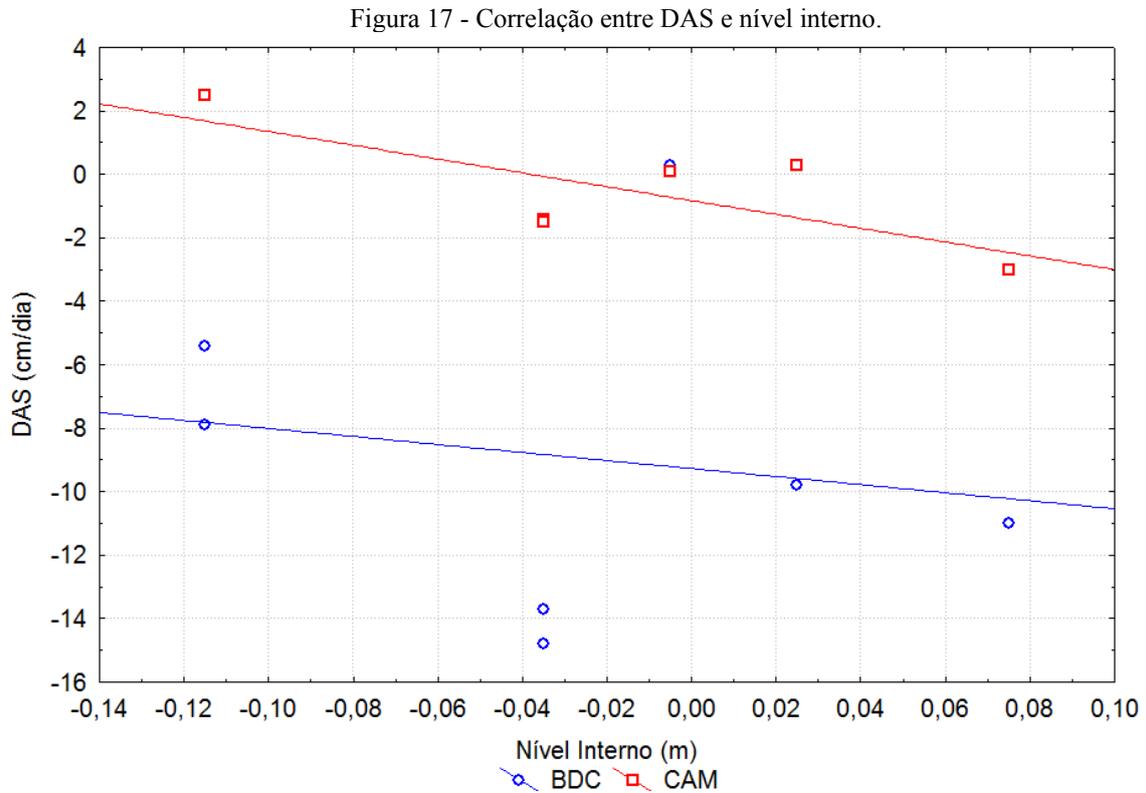
4.3.2 Variabilidade temporal de DAS

A Figura 16 traz o *scatterplot* dos valores de DAS por data, discriminando as duas seções amostrais. A seção CAM apresentou variações na direção do fluxo durante todo o período de coleta e a intensidade do fluxo foi inferior quando comparado ao ponto BDC. O ponto BDC, como já foi mostrado pela Figura 6, apresenta predominantemente fluxos negativos. Os fluxos se intensificaram ao longo das coletas, tendo seu ponto máximo na sétima coleta (04/10/2019) atingindo uma média de -14,8 cm/dia, nesse mesmo dia, o ponto CAM apresentou uma média de -1,4 cm/dia, o máximo no ponto foi na nona coleta (09/10/2019) obtendo a média de -4,5 cm/dia.

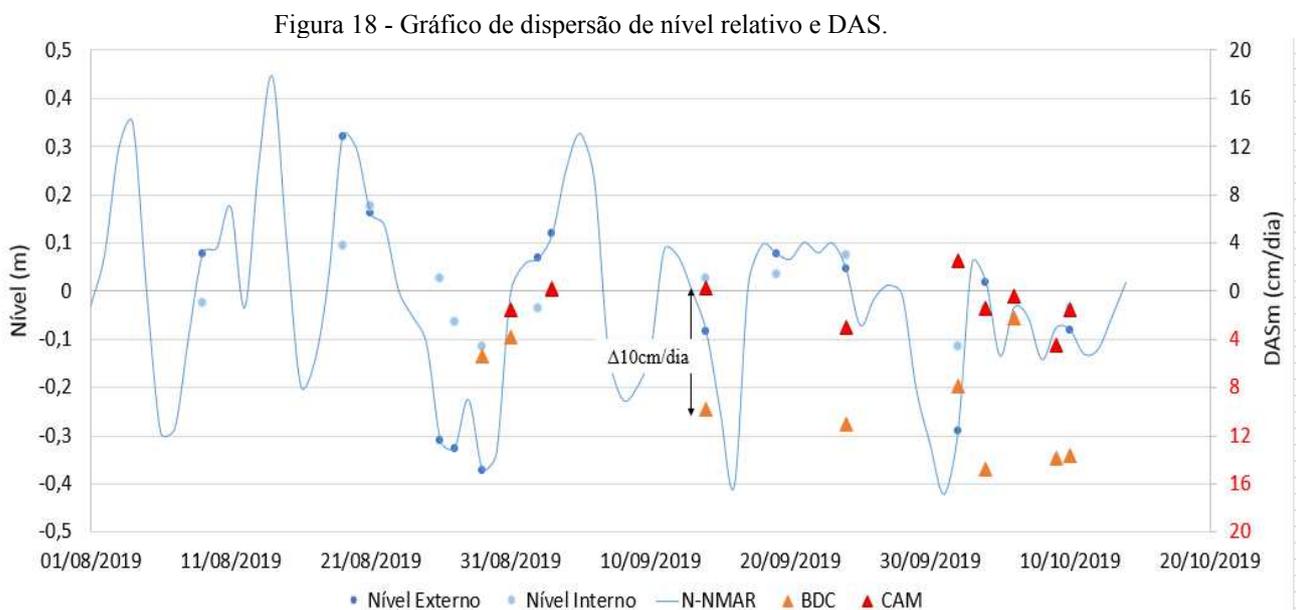
Figura 16 - Gráfico de dispersão de DAS por coleta.



A Figura 17 apresenta a correlação entre os valores de DAS das duas seções amostrais com o nível interno da laguna, a seção BDC é apresentada com círculos azuis e a seção CAM com quadrados vermelhos. É possível observar que os fluxos negativos se intensificam à medida que o nível interno da laguna aumenta. O que é resultado do aumento do gradiente hidráulico entre a laguna e o oceano, que pode, inclusive, inverter a direção do fluxo, como foi observado na seção CAM. No período observado não houve grandes períodos ou volume de chuva, portanto o nível interno da LC respondeu basicamente as variações no nível externo, que é controlado pela resultante da maré astronômica e da maré meteorológica.



A Erro! Fonte de referência não encontrada. apresenta os dados referentes aos níveis r relativos interno e externo e as médias de DAS das duas seções de coleta. Os fluxos de BDC e CAM, apresentaram comportamento semelhante, porém em faixas diferentes. É possível observar na Figura 19 que o gradiente, entre as seções, em grande parte das coletas chega a 10 cm/dia, a diferença entre as seções foi baixa apenas nas primeiras coletas.



5 CONCLUSÕES

Para o presente trabalho foram utilizados equipamentos de baixo custo (*seepage meter*) para a quantificação direta dos fluxos na interface sedimento-água da Lagoa da Conceição. Os fluxos medidos em BDC e CAM apresentaram médias negativas, o que já havia sido verificado anteriormente por Kern (2019) para mesma região da laguna. A aplicação do método se mostrou eficaz e de fácil aplicação, não havendo grandes dificuldades durante as coletas. O uso de quatro *seepages* por seção também se mostrou eficaz, pois o mal funcionamento de algum dos equipamentos durante a coleta não comprometia o dia de trabalho completamente.

O nível interno da laguna foi controlado pelo nível externo (oceânico), o que era esperado pois durante o período de coleta houve baixo volume de chuva. Assim, a chuva, não afetou o nível interno da LC. Porém, para melhorar a análise da correlação entre os níveis interno e externo é necessário um monitoramento contínuo, onde os períodos de chuva também sejam avaliados.

O presente trabalho foi bem sucedido ao utilizar método de baixo custo para avaliar o aporte de água subterrânea na laguna. Os fluxos de ambas seções amostrais apresentaram médias negativas, evidenciando o papel da DAS no escoamento da água da Lagoa da Conceição em direção ao oceano. Recomenda-se que os estudos na região continuem, afim de avançar o conhecimento sobre o funcionamento do sistema lagunar em diferentes condições climatológicas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, R. C. **Estudo da circulação hidrodinâmica da Lagoa da Conceição - SC.** Dissertação de Mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

ARANTES, E. J.; CHAUDHRY, F. H.; MARCUSSI, F. F. M. **CARACTERIZAÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE RIO E AQÜÍFERO COM O USO DE INFILTRÔMETROS.** *Águas Subterrâneas*, v.20, n.2, p.97-108, 2006.

BIER, F. B.; **Caracterização morfométrica e hidrológica da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, Florianópolis – SC.** [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

BURNETT, W.C., et al. **Quantifying Submarine Groundwater Discharge in the Coastal Zone via Multiple Methods.** *Science of the Total Environment* 367(2-3): 498-543. 2006.

CRUZ, O. **A Ilha de Santa Catarina e o continente próximo; um estudo de geomorfologia costeira.** Editora da UFSC. 276p, Florianópolis, 1998.

FETTER, C. W. **Applied Hydrogeology.** 4^a. ed. Pearson Education, Inc., 610p, 2001.

FONSECA, A.; BRAGA, E.S.; EICHLER, B.B. **Distribuição espacial dos nutrientes inorganicos dissolvidos e da biomassa fitoplanctonica no sistema pelagico da Lagoa da Conceição, Santa Catarina, Brasil.** *Atlântica*, v. 24, p. 69-83, 2002.

GODOY, F.B. **Modelagem hidrológico-hidrodinâmica da Lagoa da Conceição – SC.** f. 91. Tese de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

FERREIRA, Lara Bernardes da Silva *et al.* **Temperature and seed moisture content affect electrical conductivity test in pea seeds.** *Journal of Seed Science*, v. 39, n. 4, p. 410-416, 2017.

ISRAELSEN, O. W. & REEVE, R. C. **Canal lining experiments in the delta area, Utah.** Utah Agricultural Experiment Station Tech. Bull. 313. 52 p, 1944.

KERN, P. **Estudo da qualidade da água superficial e dos subterrâneos de uma laguna subtropical: Lagoa da Conceição – Florianópolis/SC.** f. 102. Qualificação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

KERN, P.; ARCARI, T.; FRANCO, D.; **Estudo do uso de *seepage* meters para a quantificação dos aportes subterrâneos de uma laguna subtropical: Lagoa da Conceição, Florianópolis/SC - Brasil.** 2018.

KERN, P. **Estimativa de fluxos na interface sedimento-água em diferentes regiões de uma laguna subtropical: Lagoa da Conceição – Florianópolis/SC.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

KJERFVE, B. **Coastal lagoons.** Elsevier oceanography series. Elsevier, p. 1-8, 1994.

KJERFVE, B. **Comparative oceanography of coastal lagoons.** In: D.A WOLFE (ed.) Estuarine variability Academic Press., New York, p. 63-81. 1986.

KOBIYAMA, M. **Manejo de bacias hidrográficas: conceitos básicos.** In: Curso de Manejo de bacias hidrográficas sob a perspectiva florestal, Apostila, Curitiba: FUPEF, p.29-31, 1999.

LEE, D.R., CHERRY, J.A. **A Field Exercise on Groundwater Flow Using *Seepage* Meters and Mini-piezometers.** Journal of Geological Education, v. 27, p. 6-10, 1978.

LEE, D.R. **A device for measuring *seepage* flux in lakes and estuaries.** Limnology and Oceanography, v. 22, p. 140-147, 1977.

MARTINEZ, C.J. ***Seepage* Meters for Measuring Groundwater-Surface Water Exchange.** 2013.

MIRANDA L.B., CASTRO B.M. & KJERFVE B. **Princípios de oceanografia física de estuários**. EDUSP, São Paulo, 414 pp., 2002.

NIENCHESKI, L.F.H.; WINDOM, H.L.; MOORE, W.S.; JAHNKE, R. **Submarine groundwater discharge of nutrients to the ocean along a coastal lagoon barrier, Southern Brazil**. *Marine Chemistry*, v. 109, p. 546-561, 2007.

ONUR, E. M. **Predicting the permeability of sandy soils from grain size distributions**. Kent: Kent State University, 2014.

PRITCHARD, D. W., **What is an estuary: physical viewpoint**, in *Estuaries*, Lauff, G. H., Ed., Publ. 83, American Association for the Advancement of Science, Washington, D.C., 1967.

ROCHA, C.M. **Advecção de água subterrânea para as lagoas costeiras do litoral norte do RS, Brasil**. f. 60. Tese de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2014.

ROCHA, C.M.; ANDRADE, C.F.F. & NIENCHESKI, L.F.H. **Descarga de água subterrânea para as lagoas costeiras do litoral norte de Rio Grande do Sul, Brasil**. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.*, 19(2), 2015.

RUDORFF, F.M.; BONETTI, J.; PEIXOTO, J.R.V.; de OLIVEIRA, U.R. & BONETTI, C. **Setorização do subsistema sul da Lagoa da Conceição, Santa Catarina**. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.*, v. 9, n. 2, p. 49-56, 2005.

ROSENBERRY, D. O.; **A seepage meter designed for use in flowing water**. *Journal of Hydrology*, v. 359, n 1-2, p. 118-130, 2008.

SHAW, R. D.; PREPAS, E. E. **Groundwater-lake interactions: I. Accuracy of seepage meter estimates of lake seepage.** Journal of Hydrology, v. 119, n. 1-4, p. 105-120, 1990.

SILVA, J. C. **Análise numérica da influencia do Rio João Gualberto sobre a hidrodinâmica residual da Lagoa da Conceição – Florianópolis/SC.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Santa Catarina. 2010.

SILVEIRA, A. L. L. **Ciclo Hidrológico e a Bacia Hidrográfica.** In TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Edusp / ABRH, 35-51p, 1997.

SMERDON, B. D.; MENDOZA, C. A.; DEVITO, K. J. **Simulations of fully coupled lake-groundwater exchange in a subhumid climate with an integrated hydrologic model.** Water Resources Research, v. 43, 2007.

TERAMOTO, E. H.; SOTO, M. A. A.; KIANG, C. H.; PEDE, M. A. Z.; MARTINS E. P. **Empirical model to determine hydraulic conductivity using grain-size data.** Geotecnia, 117:41-53, 2010.

WINTER, T. C. **Relation of streams, lakes, and wetlands to groundwater flow systems.** Hydrogeology Journal, 7:28–45, 1999.

WINTER, T. C.; HARVEY, J. W.; FRANKE, O. L.; ALLEY, W. M. **Ground Water and Surface Water A Single Resource.** U.S. Geological Survey, p. 79, 1998.