



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE**  
**INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**OCEANOGRAFIA FÍSICA, QUÍMICA E GEOLÓGICA**

---



**ADVECÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA AS LAGOAS**  
**COSTEIRAS DO LITORAL NORTE DO RS, BRASIL**

**Cacinele Mariana da Rocha**

**Rio Grande**

**2014**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE  
INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
OCEANOGRAFIA FÍSICA, QUÍMICA E GEOLÓGICA**

---



**ADVECCÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA AS LAGOAS  
COSTEIRAS DO LITORAL NORTE DO RS, BRASIL**

**Cacinele Mariana da Rocha**

**Dissertação apresentada à Comissão de Curso de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica da Universidade Federal do Rio Grande, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Oceanografia Física, Química e Geológica.**

**Orientador: Prof. Dr. Luis Felipe Hax Niencheski**

**Coorientador: Prof. Dr. Carlos Francisco Ferreira de Andrade**

**Rio Grande**

**2014**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a minha amiga e colega, Carla Ozorio, pessoa que, quando contei ter intenção de cursar o mestrado, me indicou o Professor Felipe Niencheski, já que este grande oceanógrafo tencionava estender seus estudos ao Litoral Norte, local onde resido e atuo. Sem ela, esta parceria não teria se oportunizado e hoje não estaria comemorando este projeto concluído.

Ao Prof. Felipe por sua vez, que mesmo não me conhecendo pessoalmente, aceitou-me de braços abertos e, de longe, me orientou, sabendo usar de todo meu conhecimento a respeito da região do LN em prol de um estudo importante, somando o que tínhamos ambos de melhor. Muito obrigada! Que possamos seguir esta jornada juntos por mais alguns anos!!

Fundamental também foi a parceria com o Prof. Carlos Andrade, meu coorientador, químico como eu, que dividiu todos seus saberes. Obrigada pela paciência e pelas discussões que muito contribuíram, pelos cálculos estafantes e tudo mais!

Um agradecimento especial ao meu *personal engineer*, meu companheiro e amigo Anderson Welker, que não viu dificuldades em me acompanhar a praticamente todos os campos que amostrarei, sendo ele hoje um conhecedor da SGD. Meu amor, obrigada pelas muitas horas trabalhadas, as dicas de engenharia e as manutenções nos meus equipamentos! Aos meus pais, João e Sáira, parceiros nas tantas idas às lagoas, e que junto da minha irmã, Joana, sempre me apoiaram para seguir em frente, vencer os obstáculos e buscar os meus sonhos. Somos um só, família!

Agradecimento à CPRM nas pessoas do Srs. Guilherme Casarotto Troian e Pedro Cesar de Freitas, geólogos, que me atenderam muito bem e não viram dificuldades em fornecer amostras de águas dos poços da companhia para balizar nossos estudos na região norte. Obrigada, e saibam que sempre que preciso, podem contar conosco, o conhecimento se constrói a muitas mãos!

Um obrigada acalorado para minhas queridas amigas Luciana Medeiros, Karine Steigleder e Vanessa Agostini por abrirem as portas de suas casas para me darem pouso, foi muito importante mesmo. Saibam que *mi casa es su casa* também!

Aos amigos da FURG, especialmente da Hidroquímica, que me receberam super bem e mesmo por vezes distante me acolheram, obrigada! A colega e amiga Mariele Paiva, com quem dividi o prazer de estar no campo, amostrando, conhecendo, dividindo e multiplicando muitos bequeréis, um grande abraço!

Não poderia deixar de agradecer o apoio dado pelos colegas do CECLIMAR, por compreenderem minhas ausências para estar em Rio Grande para o mestrado, especialmente aos meus alunos do LASBP que não deixaram que o laboratório fechasse nestes momentos e levaram as rotinas adiante. Parabéns!

Agradecimento ao INCT Mar-COI 565062/2010-7 e CNPq 303672/2013-7 pelo apoio financeiro em atividades de campo.

## RESUMO

Este trabalho teve por objetivo o estudo as lagoas costeiras do litoral norte do Rio Grande do Sul (RS) e seus tributários quanto ao transporte de água doce de origem subterrânea para a plataforma continental, via estuário subterrâneo. É um estudo pioneiro sobre a descarga de água subterrânea (DAS) no litoral norte do RS.

Inicialmente, o capítulo 1 avaliou o transporte de água do manancial subterrâneo em direção aos corpos lagunares costeiras da região norte do RS empregando o método *seepage meter*, devido sua facilidade e rápida resposta. A área de estudo restringiu-se, pelas limitações do método, a um par de pontos em cada uma das lagoas Itapeva, Quadros, Pinguela e Barros, sendo que um dos pontos foi fixado na margem mais próxima da encosta e o outro, mais próximo da linha de costa. Este posicionamento amostral correspondeu às expectativas de que estas margens respondem diferentemente, de forma geral, recebendo águas subterrâneas próximo ao embasamento e perdendo águas para o manancial subterrâneo mais próximo a linha de costa, em direção a praia.

Sanada a lacuna da participação das águas subterrâneas no abastecimento/consumo das águas dos corpos lagunares, foi possível rever o balanço hidrológico para cada lagoa, inclusive indicando a representação do aporte subterrâneo frente às demais contribuições, que esteve entre 13 e 27 %. Ainda, estes dados possibilitaram estimar o tempo de residência destas águas superficiais, que variou desde poucas semanas até alguns meses.

No capítulo 2 foi aplicada uma técnica mais apurada, que quantifica com maior flexibilidade um *proxy* natural, o gás radônio, característico indicador de águas subterrâneas. Com isso, foi possível estender a rede amostral para um maior número de pontos nas margens destas mesmas lagoas, e agregar estações de coleta nos seus tributários, bem como em poços tubulares localizados em seus entornos. A execução se deu em duas campanhas, entre 2012 e 2014 e, evidenciou fluxo de radônio elevado nos tributários e um pouco mais baixos nas margens lagunares. Neste capítulo, a resposta entre margens também foi diferenciada, corroborando os resultados do capítulo anterior.

Foi estabelecido um balanço de massa para o qual resultaram descargas sensivelmente mais elevadas do que aquelas observadas via *seepage meter* e volumes na ordem de mais de 50 mil m<sup>3</sup> ao dia, demonstrando ser a DAS responsável por até 22 % na participação das águas lagunares e 40 % dos volumes de escoamento em tributários.

Por fim, foi estabelecido os “*end member*” destes sistemas lagunar e fluvial, indicando o processo advectivo na faixa de milhões de metros cúbicos ao ano para esta região, assim como toneladas de nutrientes acompanhantes que confirmam ser a DAS fonte importante para a produção primária da costa oceânica adjacente.

Palavras-chave: radônio, descarga de água subterrânea, aquífero, tributários, *seepage meter*.

## ABSTRACT

This paper studies the coastal lagoons of the northern coast of Rio Grande do Sul (RS) and its tributaries to establish the Submarine Groundwater Discharge (SGD) to the continental shelf, via subterranean estuary. This is a pioneer study of SGD on the northern coast of the RS.

Chapter 1 assessed the transport of fresh groundwater toward coastal lagoons of the Northern of RS employing the seepage meter method, due to its low cost, facility and quick answer. The study area was restricted to, by the limitations of the method, a couple of points in each of the four lagoons considered: Itapeva, Quadros, Pinguela and Barros. One set of sampling stations close to the hillside and the other set, close to the ocean beach line. This sampling strategy corresponds with our expectations that these margins would respond differently. In general, we've observed that groundwater advects closest to basement and infiltrates to the groundwater manantial closest to shoreline, toward the beach.

After stablishing the role of groundwater in the supply/consumption of water to the lagoons, it was possible to review the water mass balance for each lagoon, indicating the representation of the fresh groundwater supply compared to the other contributions, which was between 13 and 27 %. Furthermore, these data allow us to estimate the residence time of these water bodies, which ranged from few weeks to some months.

In chapter 2 was applied a more refined technique, which measures a natural proxy, radon gas, a characteristic indicator of groundwater. Thus, it was possible to extend the sampling stations network, by adding sampling points in the lagoon's tributaries, as well as in permanent wells located in its boundaries. We've made two field campaigns, between 2012 and 2014 and results have shown high radon flow in tributaries and slightly lower in the lagoon margins. In this chapter, margins also have presented a different behaviour, corroborating the results of the previous chapter.

Water mass balance obtained using radon was significantly higher than those observed via seepage meter and the volumes estimated were on the order of more than 50 thousand m<sup>3</sup> per day, indicating that SGD is responsible for up to 22 % of lagoon's waters and 40 % of volumes of runoff in tributaries.

Finally, the "end members" of these lagoons and river systems were established, indicating the advective process in the range of millions of cubic meters per year for this considered region, as well as metric tons of nutrients that confirm to be SGD the major source for primary production of the coastal adjacent ocean.

Keywords: radon, submarine groundwater discharge, aquifer, tributaries, seepage meter.

## SUMÁRIO

<b>ADVECCÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA AS LAGOAS COSTEIRAS DO NORTE DO RS, BRASIL.....</b>	<b>i</b>
AGRADECIMENTOS.....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE ACRÔNIMOS.....	x
APRESENTAÇÃO.....	1
REFERÊNCIAS.....	3
<b>Capítulo 1: Descarga de água subterrânea nas Lagoas Costeiras Itapeva, Quadros, Pinguela e Barros no Litoral Norte do RS, Brasil.....</b>	<b>5</b>
RESUMO.....	5
ABSTRACT.....	6
INTRODUÇÃO.....	7
MÉTODOS.....	7
<i>Seepage meter</i> .....	8
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
a) <i>Seepage meter</i> .....	10
b) DAS e outros aportes.....	12
c) Balanço hidrológico.....	14
CONCLUSÃO.....	17
REFERÊNCIAS.....	19
<b>Capítulo 2: Fluxo de água subterrânea revelado pelo <sup>222</sup>Rn na região Norte Litorânea do RS, Brasil.....</b>	<b>22</b>
RESUMO.....	22
ABSTRACT.....	23

INTRODUÇÃO.....	24
MÉTODOS.....	24
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
a) Caracterização da região estudada.....	26
b) Balanço de massa.....	32
i.Obtenção do perda atmosférica $F_{atm}$ .....	33
ii.Atividade de $^{226}\text{Ra}$ no sedimento e nas águas superficiais.....	33
iii. Perda por mistura - gradiente margem-lagoa.....	34
c) Aplicação do balanço de massa.....	35
d) Obtenção dos fluxos de água.....	37
iv.Perímetro e distância do gradiente.....	37
e) Obtenção da DAS para os tributários.....	38
v.Obtenção do <i>end member</i> referente aos tributários.....	38
f) DAS e sua contribuição.....	41
g) Representação da região.....	45
CONCLUSÃO.....	47
REFERÊNCIAS.....	48
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>50</b>
<b>Anexo: Batimetria da Lagoa dos Barros.....</b>	<b>51</b>
INTRODUÇÃO.....	51
MÉTODOS.....	52
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	60

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 – Ciclo hidrológico, composto pela parcela subterrânea, e a interação entre os compartimentos, adaptado de USGS (Barlow, 2003) .....	1
Figura 2 – Mapa da área de estudo no Litoral Norte do RS e, em destaque, pontos de instalação do <i>seepage meter</i> , sendo em azul pontos próximos ao embasamento e em vermelho pontos representativos da Bacia de Pelotas.....	8
Fig. 3 – Esquema <i>seepage meter</i> , empregado na avaliação dos movimentos de água entre superfície e subsuperfície, através de um recipiente fixado ao sedimento e exposto por determinado período de tempo.....	8
Fig. 4 – Representação gráfica dos processos advectivos (positivos) e infiltrante (negativos) nas lagoas amostradas em suas porções opostas e, somatórios dos processos de todo sistema para o período entre agosto de 2013 e fevereiro de 2014.....	10
Fig. 5 – Representação das parcelas de aporte de águas, classificados como tributários, águas provenientes de precipitações e de descarga de água subterrânea (DAS) para o período de um ano.....	13
Fig. 6 – Representação do modelo do balanço hidrológico da Lagoa da Itapeva, especificando volumes anuais de entradas e saídas de água, volume do corpo e área.....	15
Fig. 7 – À esquerda, imagem do difusor empregado no método RAD-AQUA para determinação de $^{222}\text{Rn}$ , através do qual a amostra é aspergida na câmara liberando o gás radônio que é quantificado. À direita, imagem da garrafa empregada no método RAD- <i>Big Bottle</i> na qual é coletada a amostra e o gás radônio é liberado na porção superior, posteriormente sendo quantificado.....	25
Fig. 8 – Representação da amostragem completa feita nas lagoas, em 11 pontos na cor amarela, nos rios com 9 pontos na cor laranja e em poços tubulares com 7 pontos nas cores vermelho e rosa, da região das quatro lagoas costeiras avaliadas entre novembro de 2012 e janeiro de 2014.....	26
Fig. 9 – Gráfico de dispersão de resultados das atividades de radônio conforme tipologia dos corpos de água amostrados, entre nov/12 e jan/14.....	28
Fig. 10 – Mapa hidrogeológico da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí indicando as áreas de aquíferos e suas respectivas características hidrogeológicas.....	30
Fig. 11 – Gráfico de dispersão de resultados de condutividade conforme tipologia dos corpos de água amostrados entre nov/12 e jan/14.....	32
Fig. 12 – Modelo conceitual (adaptado de Burnett & Dulaiova, 2003) onde estão indicados os processos envolvidos na advecção subterrânea de água e no balanço de massa.....	32

Fig. 13 – Esquema de amostragem marginal nas lagoas e a indicação de alguns componentes para cálculos do volume total de DAS para as lagoas.....	37
Fig. 14 – Gráfico de radônio em função da distância com uma extrapolação a montante, mostrando a atividade estimada para este ponto, em $\text{dpm L}^{-1}$ , reconhecido como <i>end member</i> do sistema de acordo com a localização aproximada da nascente do Rio Mampituba, no município de São Francisco de Paula (Saint-Hilaire, 1999).....	39
Fig. 15 – Resumo gráfico de DAS para as lagoas e tributários estudados, campanhas 1 e 2, identificadas conforme lagoa associada.....	43
Fig. 16 – Representação para a região do Litoral Norte e os compartimentos Avaliados, indicando as atividades de radônio nos poços tubulares, bem como taxas de DAS resultantes calculadas para as lagoas e tributários.....	46
Fig. 17 – Mapa da Bacia Hidrográfica do Litoral Médio e, em destaque, a Lagoa dos Barros, avaliada neste estudo.....	51
Fig 18 – Representação gráfica da batimetria da Lagoa dos Barros e respectiva escala, dada em metros.....	59

## LISTA DE TABELAS

Tab. 1 – Localização (gg <sup>o</sup> m.mmm’) dos pontos amostrados por lagoa.....	9
Tab. 2 – Áreas lagunares, em km <sup>2</sup> , e volumes anuais, em m <sup>3</sup> .10 <sup>6</sup> , dos processos advectivo (DAS) e infiltrante para as respectivas lagoas amostradas.....	11
Tab. 3 – Resumo do balanço hidrológico, em escala anual, para as lagoas da Itapeva, dos Quadros, da Pinguela e dos Barros, indicando cada um dos fatores envolvidos com valores em m <sup>3</sup> .10 <sup>6</sup> , e o tempo de descarga (TD), expresso em dias.....	15
Tab. 4 – Tabela amostral com resultados para radônio, tipo de ponto amostrado, localização e a metodologia empregada.....	26
Tab. 5- Dados da amostragem em gradiente de margem lagunar e suas respectivas taxas de advecção.....	35
Tab. 6 - Dados amostrais em margens lagunares e seus respectivos resultados de fluxos advectivos associados.....	36
Tab. 7 – Pontos amostrais de poços da região do Rio Mampituba e seus respectivos resultados empregados na avaliação e definição do <i>end member</i> do sistema.....	39
Tab 8 – Dados da amostragem temporal dos pontos em tributários e seus fluxos advectivos.....	40
Tab. 9 – Descargas, volumes anuais e participação da DAS sobre o volume das Lagoas costeiras do Litoral Norte do RS.....	41
Tab. 10 – Descargas, volumes anuais e participação sobre o volume de escoamento dos tributários do Litoral Norte do RS.....	42
Tab. 11 – DAS para os pontos em tributários e volumes anuais.....	43
Tab. 12 – Descarga média de nutrientes, e incerteza, que aportam nas lagoas e tributários, conforme fluxo médio de água subterrânea associado.....	44
Tab. 13 – Tabela com dados de localização e profundidade dos pontos avaliados na Lagoa dos Barros.....	52
Tab. 14 – Área e volume da Lagoa dos Barros resultantes da batimetria executada neste estudo.....	59

## LISTA DE ACRÔNIMOS

ABAS – Associação Brasileira de Água Subterrânea

CECLIMAR – Centro de Estudos Costeiros, Limnológicos e Marinhos

CPRM – Companhia para Pesquisas de Recursos Minerais

DAS – Descarga de Água Subterrânea

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FURG – Universidade Federal do Rio Grande

GPS – *Global Position System*

INMET – Instituto Nacional de Metodologia

LN – Litoral Norte

RS – Rio Grande do Sul

SAG - Sistema Aquífero Guarani

SEMA – Secretaria Estadual de Meio Ambiente

SGD - *Submarine Groundwater Discharge*

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

## APRESENTAÇÃO

A descarga de águas subterrâneas (DAS, do inglês *Submarine Groundwater Discharge* - SGD) foi, por muitos anos, negligenciada cientificamente pela dificuldade de avaliação e da percepção de que este processo não era importante (Burnett *et al.* 2003). Valiela & D'Elia (1990) publicaram que naquele momento estaríamos numa fase exploratória deste campo, estágio que pode se estender até hoje, especialmente no que diz respeito a interação da DAS com lagoas costeiras, justificado pelos poucos estudos efetuados nestes corpos hídricos. Entretanto, o processo, contextualizado no balanço hidrológico conforme Fig. 1, já vem sendo reconhecido, inclusive no sul do Brasil, podendo-se citar Niencheski *et al.* (2007) e Andrade (2010), que evidenciaram a significativa contribuição da DAS pelo fluxo de nutrientes associados a Lagoa dos Patos e a Lagoa Mangueira, respectivamente, sendo a DAS, um dos pilares de sustentação da produção primária da zona costeira marinha contígua a essas lagoas.

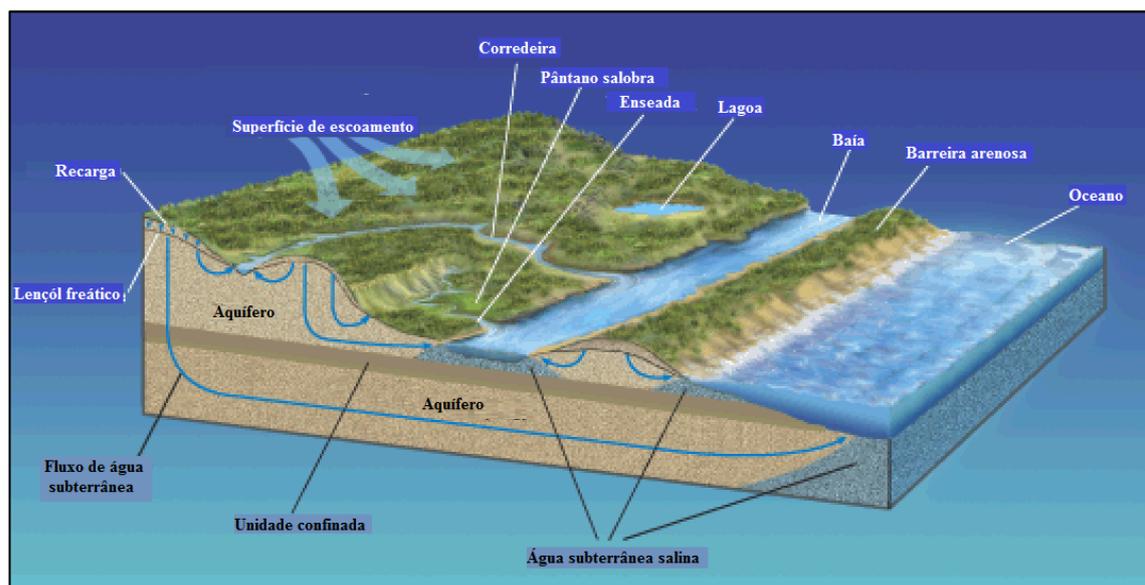


Fig. 1 – Ciclo hidrológico, composto pela parcela subterrânea, e a interação entre os compartimentos, adaptado de USGS (Barlow, 2003).

Inicialmente, as maiores correntes de estudos tinham interesse em compreender o processo de DAS na interface continente/mar (Simmons, 1992), pela importância na produtividade biológica e até mesmo em processos de remineralização geológica. Em 2006, Mulligan & Charette descrevem este processo como fonte principal de nutrientes em diversos estuários e baías, de considerável efeito ecológico, enquanto que Corbett *et al.* (1999) estimaram que essa contribuição associada à DAS chega a ser aproximadamente igual à contribuição via escoamento superficial em alguns locais. Niencheski *et al.* (2007) atestam que a DAS na restinga que separa a Lagoa dos Patos do Oceano Atlântico confirma esses dois trabalhos citados anteriormente. Ainda, outros autores afirmaram que a descarga decresce fortemente com a distância da costa, sendo que de 40 a 98% da descarga ocorreria até 100 m da costa (Johannes, 1980). Entretanto estudos mais recentes complementam estas informações, afirmando que essas infiltrações podem ocorrer bem longe da costa, em direção ao mar aberto, inclusive através de fraturas ou porções permeáveis sobre aquíferos confinados em terra (Corbett *et al.*, 1999).

Segundo Burnett *et al.* (2003), essas descargas de águas providas do aquífero oscilam muito, sendo variáveis com o tempo, desiguais e difusas em vista de múltiplas

forças; desta forma quanto mais variadas as técnicas de verificação deste aporte, maiores as chances de cobrir significativo percentual destas manifestações.

Atualmente, diversas formas para detectar a ocorrência da DAS podem ser utilizadas, como o *seepage meter*. Após 1977, quando da implementação desta técnica por Lee, diversas outras metodologias foram propostas para avaliação da advecção de águas subterrâneas, como o fluxo de nutrientes (Andrade *et al.*, 2011; Rutkoski *et al.*, 1999) e aquelas que empregam traçadores como o rádio ( $^{226}\text{Ra}$ ) e o radônio ( $^{222}\text{Rn}$ ) (Santos *et al.*, 2008). Este último elemento é um excelente traçador natural para ecossistemas costeiros por estar na águas subterrânea, em concentração de 2-4 ordens de grandeza acima da concentração nas águas marinhas e superficiais (Santos *et al.*, 2008). Por sua conservatividade e facilidade em ser mensurado, vários autores o empregaram em seus estudos (Cable *et al.*, 1996; Corbett *et al.*, 1999; Corbett *et al.*, 2000; Hussain *et al.*, 1999; Moore & Shaw, 1998; Moore, 1996a, 1996b).

Recentemente, Paiva (2011) realizou um estudo pioneiro na região costeira nordeste do RS, com o uso do radônio, onde foram confirmadas DAS nas sete lagoas estudadas. Entretanto, esse estudo foi desenvolvido com pouca resolução amostral, o que sugere que estes aportes podem ser ainda mais significativos, merecendo estudos mais minuciosos.

Desta forma, este trabalho objetivou evoluir o conhecimento sobre os processos decorrentes dos fluxos subterrâneos de água em ambientes límnicos, investigando as lagoas costeiras mais importantes do litoral norte do RS, tais como a Itapeva, Quadros, Pinguela e Barros e regiões adjacentes. A hipótese é que o transporte de água subterrânea do Aquífero Guarani-Serra Geral e, por consequência a DAS seja confirmada e as lagoas tenham um papel importante no processo de transferência de águas do aquífero para o oceano, sob a premissa de que isso já ocorra em outros pontos tanto no sul do Brasil quanto em outros países.

O capítulo 1 propõe-se identificar as fontes de água subterrânea nos sistemas de lagoas do Litoral Norte do estado do RS, através da aplicação de uma metodologia referenciada, de fácil execução, rápida e de baixo investimento: uso do *seepage meter*. Esses dados obtidos somam-se ao conjunto de dados pretéritos constituindo os componentes de entrada (aportes) e de saída (perdas, uso, etc...) de um modelo de caixa aplicado para a estimativa do balanço hidrológico e do tempo de residência das águas desses sistemas lacustres.

O segundo capítulo apresenta a estimativa de advecção de água subterrânea com o uso do traçador  $^{222}\text{Rn}$ , *proxy* de maior precisão, para a região das lagoas acima citadas e adjacências, sendo possível compreender o comportamento de cada grupo de pontos amostrados. Estas taxas são pré-requisito para o estabelecimento do balanço de massa, assim como para o cálculo das taxas de advecção e reavaliação da significância dos volumes anuais aportados tanto para as lagoas, com para os cursos de rios.

## REFERÊNCIAS

- Andrade, C. F. F. (2010). *Conexões e interações entre a água superficial e subterrânea na região costeira do extrema Sul do Brasil*. Instituto de Oceanografia. Rio Grande, Universidade Federal do Rio Grande. Tese de Doutorado: 177.
- Andrade, C. F. F., Niencheski, L. F. H., Attisano, K. K., Milani, M. R., Santos, I. R., & Milani, I. C. (2011). Fluxos de nutrientes associados às descargas de água subterrânea para a Lagoa Mangueira (Rio Grande do Sul, Brasil). *Química Nova*, *XY(00)*, 1–6.
- Barlow, P. M. (2003). Ground Water in Freshwater-Saltwater Environments of the Atlantic Coast. *U S Geological Survey - Circular 1262, Circular 1*, 121.
- Burnett, W. C., Bokuniewicz, H., Huettel, M., Moore, W. S., & Taniguchi, M. (2003). Groundwater and pore water inputs to the coastal zone. *Biogeochemistry*, *66(1/2)*, 3–33. doi:10.1023/B: BIOG.0000006066.21240.53
- Cable, J. E., Bugna, G. C., Burnett, W. C., & Chanton, J. P. (1996). Application of  $^{222}\text{Rn}$  and  $\text{CH}_4$  for assessment of groundwater discharge to the coastal ocean. *Limnology and Oceanography*, *41(6)*, 1347–1353. Retrieved from <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=2538477>
- Cable, J. E., Burnett, W. C., Chanton, J. P., & Weatherly, G. L. (1996). Estimating groundwater discharge into the northeastern Gulf of Mexico using radon-222. *Earth and Planetary Science Letters*, *144*, 591–604.
- Corbett, D. R., Chanton, J., Burnett, W., Dillon, K., Rutkowski, C., & Fourqurean, J. W. (1999). Patterns of groundwater discharge into Florida Bay. *Limnology and Oceanography*, *44(4)*, 1045–1055. doi:10.4319/lo.1999.44.4.1045
- Corbett, D. R., Dillon, K., Burnett, W., & Chanton, J. (2000). Estimating the groundwater contribution into Florida Bay via natural tracers,  $^{222}\text{Rn}$  and  $\text{CH}_4$ . *Limnology and Oceanography*, *45(7)*, 1546–1557. doi:10.4319/lo.2000.45.7.1546
- Hussain, N., Church, T. M., & Kim, G. (1999). Use of  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{226}\text{Ra}$  to trace groundwater discharge into the Chesapeake Bay. *Marine Chemistry*, *65*, 127–134.
- Johannes, R. (1980). The Ecological Significance of the Submarine Discharge of Groundwater. *Marine Ecology Progress Series*, *3*, 365–373. doi:10.3354/meps003365
- Lee, D. R. (1977). A device for measuring seepage flux in lakes and estuaries. *Limnology and Oceanography*, *22(1)*, 140–147.
- Moore, S., & Shaw, T. J. (1998). Chemical signals from submarine fluid advection onto the continental shelf. *Journal of Geophysical Research*, *103(C10)*, 21543–21552.
- Moore, W. S. (1996a). Large groundwater inputs to coastal waters revealed by  $^{226}\text{Ra}$  enrichments. *Nature*, *380(6575)*, 612–614. doi:10.1038/380612a0
- Moore, W. S. (1996b). Using the radium quartet for evaluating groundwater input and water exchange in salt marshes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *60(23)*, 4645–4652. doi:10.1016/S0016-7037(96)00289-X
- Mulligan, A. E., & Charette, M. a. (2006). Intercomparison of submarine groundwater discharge estimates from a sandy unconfined aquifer. *Journal of Hydrology*, *327(3-4)*, 411–425. doi:10.1016/j.jhydrol.2005.11.056
- Niencheski, L. F. H., Windom, H. L., Moore, W. S., & Jahnke, R. a. (2007). Submarine groundwater discharge of nutrients to the ocean along a coastal lagoon barrier, Southern Brazil. *Marine Chemistry*, *106(3-4)*, 546–561. doi:10.1016/j.marchem.2007.06.004
- Paiva, M. L. De. (2011). *Sistema aquífero Guarani: fonte de nutrientes e elementos traços para a zona costeira*. Instituto de Oceanografia. Rio Grande, Universidade Federal do Rio Grande. Monografia: 92.

- Rutkowski, C. M., Burnett, W. C., Iverson, R. L., & Chanton, J. P. (1999). The Effect of Groundwater Seepage on Nutrient Delivery and Seagrass Distribution in the Northeastern Gulf of Mexico. *Journal of Estuaries*, (4), 1033–1040.
- Santos, I. R., Burnett, W. C., Chanton, J., Mwashote, B., Suryaputra, I. G. N. a., & Dittmar, T. (2008). Nutrient biogeochemistry in a Gulf of Mexico subterranean estuary and groundwater-derived fluxes to the coastal ocean. *Limnology and Oceanography*, 53(2), 705–718. doi:10.4319/lo.2008.53.2.0705
- Simmons, G. M. (1992). Importance of submarine groundwater discharge (SGWD) and seawater cycling to material flux across sediment/water interfaces in marine environments. *Marine Ecology Progress Series*, 84, 173–184.
- Valiela, I., D'Elia, C., Union, A. G., & Oceanography, A. S. of L. and. (1990). *Groundwater Inputs to Coastal Waters: Special Issue* (p. 160). Retrieved from [http://books.google.com.br/books/about/Groundwater\\_Inputs\\_to\\_Coastal\\_Waters.html?id=eT4\\_HQAACAAJ&pgis=1](http://books.google.com.br/books/about/Groundwater_Inputs_to_Coastal_Waters.html?id=eT4_HQAACAAJ&pgis=1)

## **Capítulo 1: Descarga de água subterrânea nas Lagoas Costeiras Itapeva, Quadros, Pinguela e Barros no Litoral Norte do RS, Brasil**

### **RESUMO**

A advecção de água subterrânea em lagoas costeiras do sul do RS é um processo já referenciado, que somado às avaliações preliminares em alguns pontos do Litoral Norte, instigaram a investigação desse fenômeno com maior detalhe. Objetivando confirmar e quantificar as descargas em quatro importantes lagoas do Litoral Norte do RS – Lagoa da Itapeva, dos Quadros, da Pinguela e dos Barros - foram amostrados quatro pares de pontos pelo método *seepage meter*. Um comportamento diferenciado entre as margens foi registrado, especificamente próximo da encosta da serra, com processo advectivo positivo, e próximo da linha de praia, com processo negativo. A estimativa das descargas alcança volumes da ordem de milhões de metros cúbicos de água subterrânea advectando anualmente nessas lagoas, sendo responsáveis por 13 a 27% dos aportes totais. Ainda, por meio de um balanço hidrológico, foi possível avaliar o equilíbrio entre entradas e saídas, assim como o tempo de descarga das águas em cada um dos corpos hídricos, que oscilou entre 19 e 847 dias.

Palavras-chave: balanço hidrológico, *seepage meter*, *submarine groundwater discharge*, tempo de descarga.

## **Chapter 1: Groundwater discharge in Itapeva, Quadros, Pinguela and Barros Coastal Lagoons on the North Coast of RS, Brazil**

### **ABSTRACT**

The advection of groundwater in coastal lakes of southern RS is already a referenced process, but previous results obtained at some points of the Northern Coast have asked our attention to proceed with a more detailed investigation of this process. Aiming to confirm and quantify the discharges of ground freshwater in four major water bodies of this Coast of the RS – Itapeva, Quadros, Pinguela and Barros Lagoon - four pairs of points were sampled by using seepage meter method. A different behavior between the margins was recorded, specifically near the hills of Serra Geral, with positive advective process; and near to the ocean beach line, negative values, indicating process of infiltration. The estimated volume of discharge reaches the order of millions of cubic meters of groundwater annually toward to this lagoon, accounting for 13-27% of total contributions. Furthermore, using water mass balance it was possible to evaluate the difference between inputs and outputs as well as the flushing time of the water mass in each water bodies, which ranged from 19 to 847 days.

Keywords: water balance, seepage meter, submarine groundwater discharge, residence time.

## INTRODUÇÃO

É comprovada a interligação hidráulica entre aquíferos sobrepostos (Rebouças, 1994), sendo que a descarga de água subterrânea, DAS (do inglês, *Submarine Groundwater Discharge - SGD*) é um fenômeno relativamente comum quando conectado às águas superficiais através de sedimentos permeáveis ou mesmo fissuras (Johannes, 1980).

Atualmente, esse processo é reconhecido (Taniguchi *et al.*, 2007) e o impacto do fluxo de águas subterrâneas cresce exponencialmente com a proximidade da costa (Cable *et al.*, 1996; Lee, 1977), sendo que estes aportes subterrâneos respondem por significativa parcela do abastecimento lacustre e costeiro.

Estudos anteriores realizados na região sul do estado do RS (Andrade, 2010), apontaram questionamentos sobre a proveniência de águas para a manutenção de algumas lagoas, as mesmas foram investigadas e resultando em taxas positivas de descarga de água subterrânea. A hipótese é de que essa situação pudesse se repetir, também, na região norte da planície costeira, possibilitando a identificação de fontes de água subterrânea nos sistemas de lagoas do Litoral Norte do estado.

A planície costeira do RS foi formada durante contínuos eventos de regressão e transgressão marinha, os quais deram origem aos sistemas Laguna/Barreira I, II, III e IV (Tomazelli, 1990). No Litoral Norte, esses processos deram início à formação das dezenas de lagoas cordiformes (Tomazelli & Villwock, 2005) (Fig. 2), que representam 38,5% da superfície local (Schwarzbold & Schafer, 1984), sendo a maioria delas, lagoas rasas, situadas entre a encosta e a linha de praia.

Uma das metodologias para detecção da ocorrência da DAS é o uso do *seepage meter*, descrito por Lee (1977). Este método de avaliação da advecção foi empregado em diversos trabalhos (Cable *et al.*, 1997; Cable *et al.*, 1997; Corbett *et al.*, 1999; Rutkowski *et al.*, 1999; Shaw & Prepas, 1989), por sua facilidade de aplicação, resposta rápida e baixos custos envolvidos, sendo os resultados preliminarmente importantes para confirmar e quantificar volumes que advectam em pontos específicos.

## MÉTODOS

Dentre as mais de 60 lagoas costeiras do Litoral Norte do RS, foram escolhidas quatro delas por sua importante relevância regional, seja pelos seus usos no abastecimento e na agricultura, ou mesmo por seu volume e área estabelecidos.

Foram definidos quatro pares de pontos de amostragem, sendo um par a cada lagoa, de forma que cada um dos pontos estivesse o mais distante possível um do outro. Localizados, preferencialmente, nas porções próximas ao embasamento e próximo da linha de praia, ou Bacia de Pelotas para avaliação de possíveis diferenças no comportamento do fluxo, conforme Fig. 2.

Cada ponto de aplicação do método esteve composto de três sistemas posicionados equidistantes entre si. A avaliação em ambas as margens de cada lagoa foi executada num mesmo período para que todos os *seepage meter* estivessem expostos às mesmas condições de tempo e gradiente hidráulico.

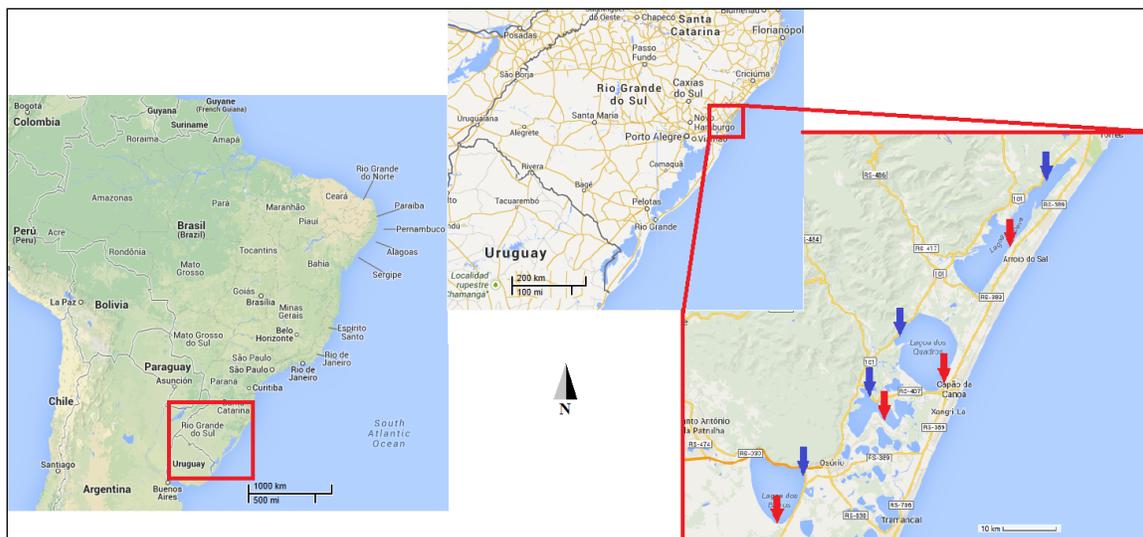


Figura 2 – Mapa da área de estudo no Litoral Norte do RS e, em destaque, pontos de instalação do *seepage meter*, sendo em azul pontos próximos ao embasamento e em vermelho pontos representativos da Bacia de Pelotas.

### *Seepage meter*

O sistema foi adaptado e confeccionado de forma simples, usando um recipiente emborcado e penetrado no sedimento cerca de 15-20 cm, tendo em sua extremidade superior uma válvula, onde foi preso um saco plástico com volume conhecido de água, um litro, normalmente (Fig. 3). O mesmo permaneceu submerso por um período aproximado de 24 horas e, neste intervalo, o sistema teve a oportunidade de perder volume por infiltração ou ganhar pelo processo de advecção de água subterrânea (Lee, 1977).

Considerando a área de exposição e o volume de água remanescente no saco plástico, em relação ao tempo de exposição, foi possível obter uma estimativa do volume de água que escoou através do sedimento, movimentando-se entre superfície e subterrâneo.

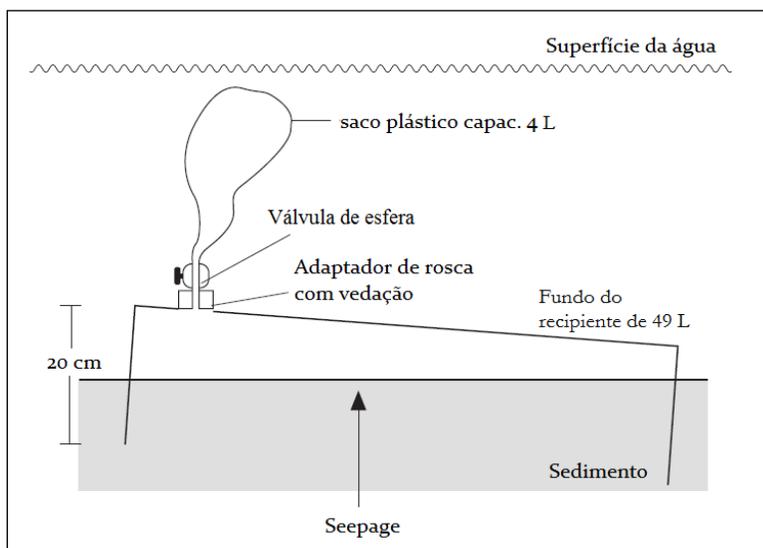


Fig. 3 – Esquema *seepage meter*, empregado na avaliação dos movimentos de água entre superfície e subsuperfície, através de um recipiente fixado ao sedimento e exposto por determinado período de tempo.

Fonte: adaptado de Cable *et al.* (1997).

O cálculo para obter a taxa do processo advectivo é dado pela Eq. I:

$$Tx = \frac{(m \times 100)}{1.000.000 \times \Delta t \times A_r} \quad \text{Eq. I}$$

onde:

Tx – taxa de advecção ou infiltração, dada em  $\text{cm d}^{-1}$ ;

m – média dos volumes acumulados (+) ou perdidos (-) durante o experimento, acompanhados do sinal, expresso em litros;

$\Delta t$  – tempo decorrido entre a instalação e retirada dos sistemas, ou seja, tempo de exposição, dado em dias, d;

$A_r$  – área dos recipientes, expresso em metros,  $\text{m}^2$ .

Sendo que m pode ser calculado através da Eq. II:

$$m = \frac{[(V_i - V_f)_{s1} + (V_i - V_f)_{s2} + (V_i - V_f)_{s3}]}{3} \quad \text{Eq. II}$$

onde:

$V_i$  – volume inicial do saco plástico, dado em litros;

$V_f$  – volume final do saco plástico, dado em litros;

$s_1$  – saco do recipiente nº1;

$s_2$  – saco do recipiente nº2;

$s_3$  – saco do recipiente nº3.

Para a correta instalação do equipamento, faz-se necessário que o local escolhido tenha característica arenosa, pouco lamosa e isenta de pedras. Desta forma, os pontos selecionados, conforme Tab.1, foram:

Tab. 1 – Localização ( $g^{\circ} m.mmm'$ ) dos pontos amostrados por lagoa.

Lagoa	Porção Embasamento		Porção Bacia de Pelotas	
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
Itapeva	29° 24.378'S	49° 50.994'O	29° 32.192'S	49° 55.836'O
Quadros	29° 40.650'S	50° 08.652'O	29° 45.218'S	50° 02.937'O
Pinguela	29° 46.838'S	50° 11.467'O	29° 49.158'S	50° 10.077'O
Barros	29° 54.076'S	50° 19.276'O	29° 59.386'S	50° 22.640'O

Considerando que os processos de infiltração e advecção são “movimento da água dentro do solo” (Teixeira & Baptista, 1994), sem um sentido definido e com transferência de massa, optamos por estabelecer a nomenclatura “infiltração” para o movimento no sentido compartimento superficial → manancial subterrâneo, enquanto para o termo “advecção” consideramos o movimento do manancial subterrâneo → compartimento superficial. Esta definição deve-se a necessidade corriqueira de informar o processo indicando o sentido de movimento, importante característica abordada neste trabalho.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### a) Seepage meter

A coleta de dados ocorreu em período com precipitação média de 209 mm (máxima: 432; mínima: 73,4 mm) (INMET, 2013), entre os meses de agosto de 2013 e fevereiro de 2014, e os resultados variaram desde  $-0,16 \text{ cm d}^{-1}$ , ou seja, perda por infiltração de água, e  $0,70 \text{ cm d}^{-1}$ , indicando a DAS (Fig.4). Os resultados estão espacializados na Fig. 1, onde os fluxos de infiltração estão representados em vermelho e, os de advecção em azul.

Foi possível verificar um comportamento diferenciado entre as margens dentro de uma mesma lagoa. Aqueles pontos próximos da encosta da Serra demonstram um resultado advectivo maior, enquanto os pontos das margens mais próximas da linha de praia caracterizam-se como infiltrantes. Andrade (2010) também observou diferença entre as margens leste e oeste para a Lagoa Mangueira. Possivelmente, este comportamento em nossa grade amostral possa ser explicado na encosta da Serra, pela interação com a formação geológica, através de fraturas ou porções permeáveis sobre aquíferos confinados em terra (Corbett *et al.*, 1999). Enquanto isso, a porção da Bacia de Pelotas sofre efeito da linha de costa que a comunica com o oceano, configurando uma barreira arenosa permeável que age como membrana, assim como o caso da Lagoa Mangueira (Andrade, 2010). Desta forma, haveria maior possibilidade de a água infiltrar na porção mais a leste da lagoa e aflorar no cordão de dunas, desaguando no mar.

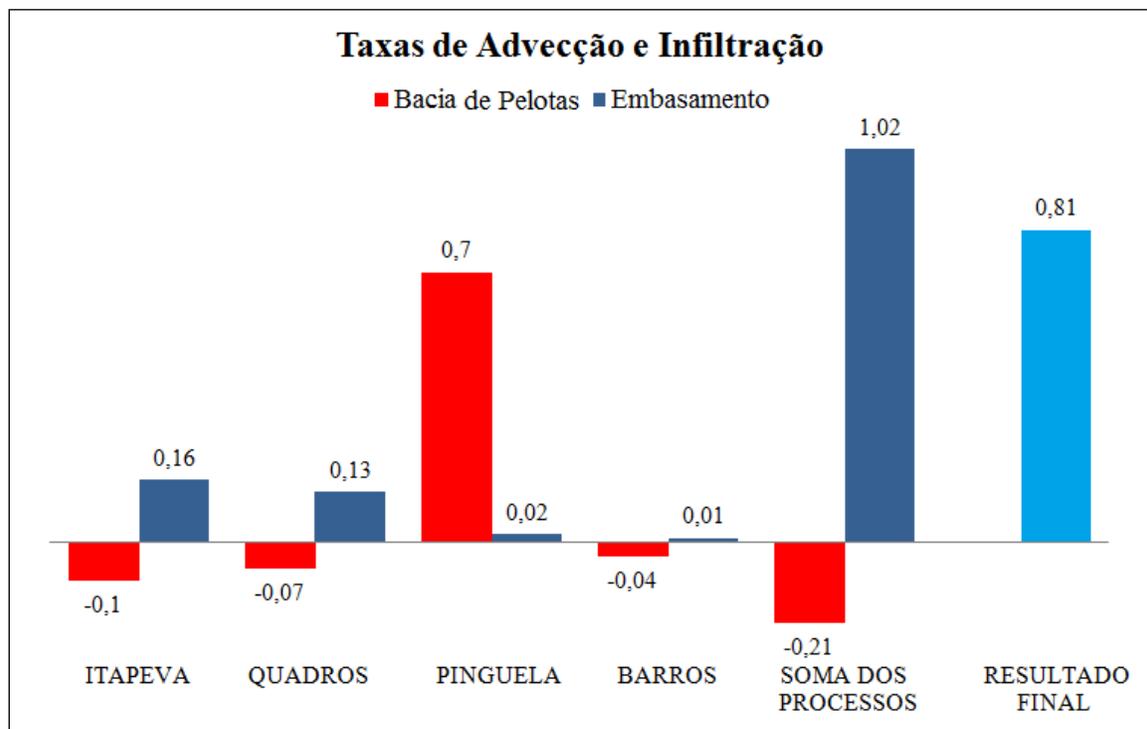


Fig. 4 – Representação gráfica dos processos advectivos (positivos) e infiltrante (negativos) nas lagoas amostradas em suas porções opostas e, somatórios dos processos de todo sistema para o período entre agosto de 2013 e fevereiro de 2014.

Resultados observados em outros trabalhos com *seepage meter* “tipo Lee”, registraram taxas na faixa de 5 a  $45 \text{ cm d}^{-1}$  em baías (Mulligan & Charette, 2006); 0 a  $20 \text{ cm d}^{-1}$  (Cable *et al.*, 1997), 1 a  $490 \text{ cm d}^{-1}$  (Burnett *et al.*, 2006) e 0 a  $12 \text{ cm d}^{-1}$  para zonas costeiras (Lee, 1977), enquanto para lagoas a faixa registrada esteve entre 0 e 22

cm d<sup>-1</sup> (Lee, 1977). Desta forma, os resultados verificados no presente trabalho podem ser considerados baixos, mesmo havendo poucas referências para áreas lacustres. Entretanto, já são responsáveis por contribuir com volumes na casa de milhões de metros cúbicos ao ano para as referidas lagoas.

Vale destacar que, embora o comportamento entre margens possa ter se mostrado diferenciado, assumiu-se que os processos de advecção e infiltração são homogêneos para toda a lagoa, ou seja, ocorrem ambos em toda a extensão do corpo lagunar, inclusive pelo geologia local ser bastante homogênea, conforme Profill (2005). Não seria prudente fracionar áreas com, hipoteticamente, indicação de um ou outro processo, sem uma extensa avaliação de áreas mais restritas, sob pena de incorrer em erros. Assim, de acordo com as áreas totais das lagoas (Tab. 2) e as taxas encontradas para ambos os pontos avaliados, foi possível calcular os volumes anuais advectados ou infiltrados, conforme a equação III:

$$VT_a = \frac{Tx \times A_l \times 365}{100} \quad \text{Eq. III}$$

onde:

VT<sub>a</sub> – volume total por ano, dado por m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>;

Tx – taxa de advecção ou infiltração, dada em cm d<sup>-1</sup>;

A<sub>l</sub> – área do corpo lagunar, expresso em m<sup>2</sup>, sendo a mesma para o cálculo de ambos os pontos, em processo advectivo e/ou infiltrante.

Para o caso da Lagoa dos Barros, para a qual dispunha-se de poucas informações, foi inclusive necessário determinar sua batimetria (descrita no Anexo desta dissertação) para cálculo do seu volume.

Para todas as margens das lagoas próximas a elevação da Serra foram registrados valores positivos, enquanto para as margens mais próximas da faixa de praia, foram registrados três resultados negativos e um positivo, conforme dados da Tabela 2. Assim, os resultados destes dois pontos por lagoa evidenciam a transferência de água no sentido manancial subterrâneo/lagoa - lagoa/manancial subterrâneo próximo ao mar e, a magnitude destes processos, com possível descarga na região de praia, já registrado por Paiva (2011) através de poços piezométricos amostrados na região de Torres/RS.

Tab. 2 – Áreas lagunares, em km<sup>2</sup>, e volumes anuais, em m<sup>3</sup>.10<sup>6</sup>, dos processos advectivo (DAS) e infiltrante para as respectivas lagoas amostradas.

Dados/Lagoas	Itapeva	Quadros	Pinguela	Barros
Área	194	373	107	124
Vol. advectado	+71,5	+176	+275,6	+48,6
Vol. Infiltrado	-113,4	-101,5	+8,2	-16,5

Ainda, Paiva (2011) empregando outra técnica de avaliação com o traçador radônio, encontrou valores aproximados de 1,5 cm d<sup>-1</sup> para Lagoa da Itapeva; 19,9 cm d<sup>-1</sup> para Lagoa dos Quadros; e 0,9 cm d<sup>-1</sup> para Lagoa da Pinguela, resultados mais elevados que os encontrados com o uso do *seepage meter*. Segundo Burnett *et al.* (2003), essas descargas de águas providas do subterrâneo oscilam muito, sendo variáveis com o tempo, desiguais e difusas em vista de múltiplas forças. Desta forma, quanto mais variadas as técnicas de verificação deste aporte, maiores as chances de cobrir significativo percentual destas manifestações.

Além das diferenças observáveis no sentido de escoamentos das águas, seja manancial subterrâneo/lagoa ou lagoa/manancial subterrâneo, nota-se ainda que o processo positivo de advecção é duas a três vezes maior que o processo inverso, exceto para a Lagoa da Itapeva. De acordo com Pivel & Calliari (1998) a característica marcante na região do litoral de Torres/RS, onde localiza-se parte da Lagoa da Itapeva, é a ocorrência do contato do embasamento com oceano diretamente que poderiam interferir positivamente na descarga de água subterrânea diretamente no mar, favorecendo uma maior taxa de transferência lagoa/manancial subterrâneo/oceano do que a advecção para a lagoas onde esse contato não ocorre, justificando esta diferença se comparada com as demais.

As oscilações entre os valores advectados/infiltrados entre as lagoas, não apresentam clara relação com suas respectivas áreas. Entretanto, as lagoas que apresentaram volumes mais elevados de DAS, como a Itapeva, Quadros e Pinguela, podem ter explicação na proximidade com o sistema de falhas Terra de Areia – Posadas, do Sistema Aquífero Guarani - SAG (Machado, 2005), o qual favoreceria a advecção e do qual a Lagoa dos Barros está mais distante. Machado (2005) estudou exaustivamente o SAG, tendo produzido um mapa hidrogeológico para o RS, caracterizando as diferentes regiões deste manancial. Esta região litorânea é dividida em dois sistemas, Aquífero Quaternário Costeiro I, sob domínio de depósitos sedimentares de camadas inconsolidadas que se estende do Chuí a Torres/RS, e o Aquífero Quaternário Costeiro II, também composto por sedimentos inconsolidados que se estende de Santa Vitória do Palmar a Torres/RS, restringindo-se a região lagunar interna e os contrafortes da Serra Geral (Machado & Freitas, 2005). Esta conformação pode explicar o comportamento a respeito dos processos e componentes envolvidas. Na área das lagoas observa-se que o SAG, ou aquífero Botucatu, é parte livre e parte confinado (Freitas *et al.*, 2004; Lisboa *et al.*, 2004; Rebouças, 1994), podendo ser esta a justificativa para diferenças entre os pontos avaliados. Já o Aquífero Serra Geral III está próximo da região de estudo, restringindo-se as porções mais elevadas dos derrames da Serra Geral, e que pode da mesma forma influenciar estes sistemas pela proximidade, especialmente nas regiões dos rios, apresentando fluxos por meio de fraturas/fissuras das superfícies de descontinuidade horizontal, chamado anisotrópico (Lastoria *et al.*, 2007), tendo, igualmente, característica livre e/ou semiconfinado, o que é favorecido pelas conexões verticais (Gallo & Sinelli, 1980) aqui estabelecidas pela região de encosta.

#### b) DAS e outros aportes

A significância do aporte subterrâneo pôde ser avaliada comparando-o com as demais entradas de água em cada um dos sistemas. A participação dos rios, canais, da precipitação e da DAS pode ser observado na figura 5, com base nos dados da tabela 3, provenientes do Plano de Bacia da respectiva região.

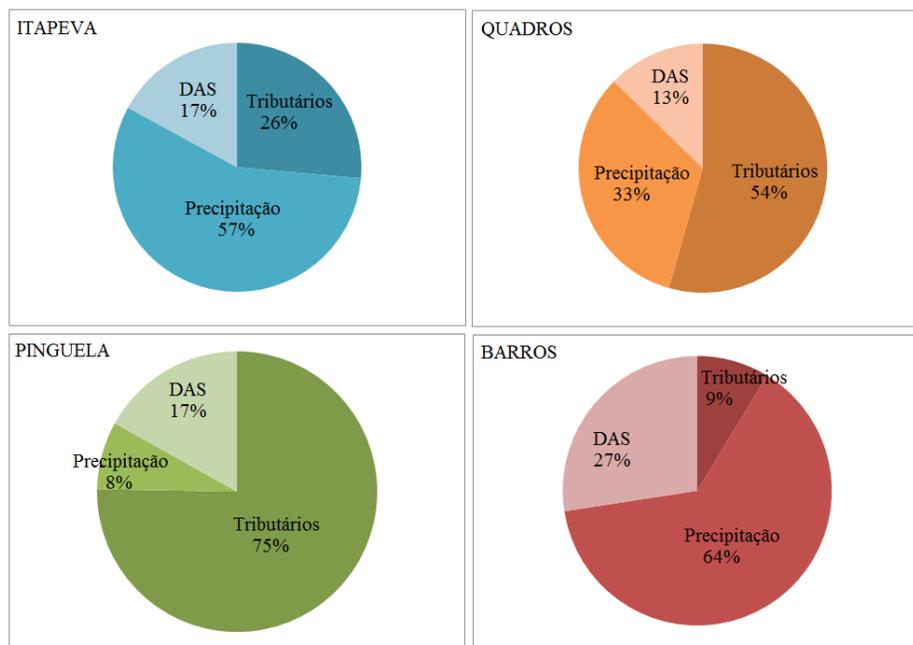


Fig. 5 – Representação das parcelas de aporte de águas, classificados como tributários, águas provenientes de precipitações e de descarga de água subterrânea (DAS), para o período de um ano.

O expressivo aporte via tributários fica evidente, assim como para outros corpos as precipitações são mais representativas em vista de sua área ampla, favorecendo o acúmulo de um significativo volume de águas. Para a Lagoa dos Barros, o papel dos tributários é bastante reduzido quando comparado às demais lagoas, considerando a inexistência de expressivos rios afluentes desta. A configuração do embasamento no entorno da Lagoa dos Barros é diferenciado dos demais, não favorecendo a formação de rios ou drenagem significativa vinda da Serra Geral.

Não menos importantes é a DAS, que demonstrou representar parte expressiva nestes sistemas. Ainda que o percentual seja menor que as demais fontes de água, as águas de origem subterrânea tem uma característica marcante que engrandece sua participação, sua composição química. A quantidade de nutrientes é muitas ordens de magnitude maior se comparadas às águas de fontes superficiais ou provenientes de chuvas (Lee, 1977; Montgomery & Pierce, 1985; Oberdorfer *et al.*, 1999; Valiela *et al.*, 1990; Valiela *et al.*, 1978). Andrade (2010), inclusive, evidenciou a significativa contribuição de nutrientes associada a DAS na Lagoa Mangueira, no sul do Brasil, sendo que estes nutrientes são reciclados inúmeras vezes sustentando a produção primária de forma contínua, assim como também importantes quando inseridos na plataforma continental (Andrade *et al.*, 2011; Attisano *et al.*, 2008; Niencheski *et al.*, 2007; Rutkowski *et al.*, 1999; Santos *et al.*, 2008).

Este processo é importante para a produtividade biológica e até mesmo em processos de remineralização geológica (Simmons, 1992). Em 2006, Mulligan & Charette (2006) descreveram este processo como fonte principal de nutrientes em diversos estuários e baías, de considerável efeito ecológico, enquanto que Corbett *et al.* (1999) estimaram que essa contribuição chega a ser aproximadamente igual à contribuição via escoamento superficial em alguns locais. Ainda, outros autores afirmaram que a descarga decresce fortemente com a distância da costa, sendo que de 40 a 98% da descarga ocorreria até 100 m da costa (Johannes, 1980), entretanto estudos mais recentes complementam estas informações, afirmando que essas advecções não

restringem-se apenas a esta estreita faixa praial, e sim podendo ocorrer bem mais interiorizados no continente (Corbett *et al.*, 1999), como em margens lagunares como as mencionadas neste estudo, que chegam a estar mais de 22 Km adentro continente.

### c) Balanço hidrológico

De posse dos valores de advecção e infiltração foi possível complementar os dados para avaliação do balanço hidrológico das lagoas estudadas, inclusive avaliando se os mesmos expressam equilíbrio ou não. Vale salientar que mesmo a aplicação da técnica *seepage meter* não tendo sido executada em paralelo, ou seja, os oito pontos simultaneamente, tivemos precipitação e níveis das lagoas com poucas variações, expondo os sistemas a características bastante semelhantes durante o período avaliado.

Como um balanço é o resultado da quantidade de água que entra e sai num dado volume de solo (Gomes, 2005), neste caso o espaço da lagoa, para um determinado intervalo de tempo, outros dados além da advecção/infiltração avaliados neste trabalho, foram necessários. Para tanto, considerou-se seus respectivos volumes, também a precipitação e evaporação para o período, com base em dados do INMET (2013), vazão dos rios, canais tributários e dos efluentes, bem como os volumes de retirada de água para os tantos usos, como abastecimento, irrigação, mineração, entre outros, com base no Plano de bacia das respectivas regiões, compiladas por Profill (2005). Embora a região seja objeto de muitos estudos, os elementos necessários para abastecer este modelo hidrológico são todos dados em unidade característica por unidade de tempo, assim como os resultados obtidos com o *seepage meter*. Desta forma, neste estudo, para uma melhor representatividade, a opção foi um balanço em escala anual. Matematicamente, a estruturação do balanço hidrológico é dada por entradas e saídas, como na Eq. IV:

$$\sum_{\text{anual}} = \text{TRIB} + \text{PREC} + \text{DAS} - \text{EVAP} - \text{ESCOA} - \text{USO} - \text{INF} \quad \text{Eq. IV}$$

onde:

$\sum_{\text{anual}}$  = somatório de circulação de águas para o período de um ano, em m<sup>3</sup>;

TRIB = volume de água recebida por meio de tributários no ano, em m<sup>3</sup>;

PREC = volume de água que precipita sobre a lagoa considerando sua área, expresso em m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>;

DAS = volume de água que advecta do subterrâneo para lagoa, dada em m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>, calculado através da Eq. 3, indicado por um VT<sub>a</sub> positivo;

EVAP = volume de água que evapora da lagoa considerada sua área, expresso em m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>;

ESCOA = volume de água que escoa para jusante da lagoa por meio de rios ou canais no período de um ano, em m<sup>3</sup>;

USO = volume de água que é retirada da lagoa anualmente para usos diversos, expresso em m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>;

INF = volume de água que infiltra retornando da lagoa para o manancial subterrâneo, dado em m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>, calculado através da Eq. III, indicado por um VT<sub>a</sub> negativo.

A variável escoamento superficial foi suprimida dos cálculos uma vez que não estavam disponíveis para estabelecimento do mesmo.

Para a Lagoa da Itapeva foi ilustrado o modelo do balanço, Fig. 6, onde se representou os dois tributários, o Rio Três Forquilhas e o Rio Cardoso, que foram somados à chuva como entradas de água no sistema, bem como ao valor provindo da advecção subterrânea. Como saídas se registrou a evaporação, o efluente Rio Cornélios, o uso para abastecimento e criação animal, assim como o valor infiltrante para o período.

As componentes e o resultado para o cálculo do balanço hidrológico da Lagoa da Itapeva, assim como as demais lagoas está indicado na Tab. 3.

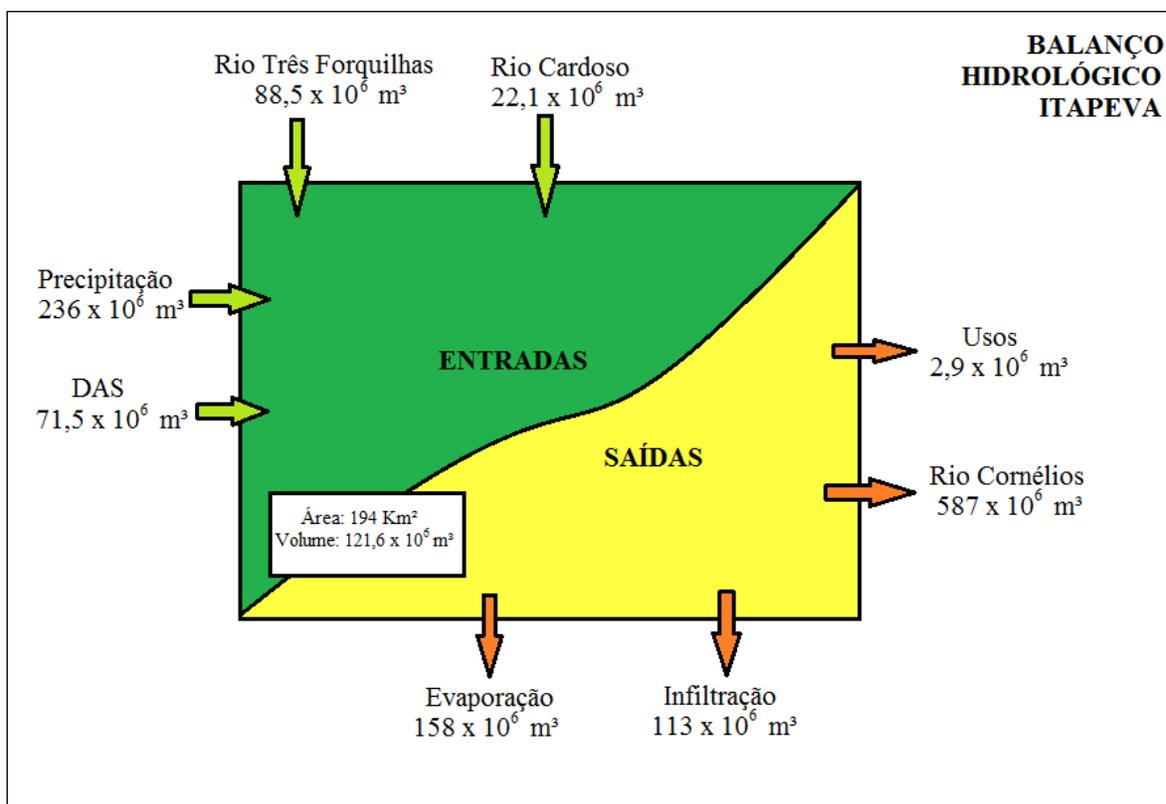


Fig. 6 – Representação do modelo do balanço hidrológico da Lagoa da Itapeva, especificando volumes anuais de entradas e saídas de água, volume do corpo e área.

Para a Lagoa dos Quadros, além da entrada de água via advecção, há também dois tributários principais, o Rio Maquiné e o Rio Cornélios, este último que escoar águas da Lagoa da Itapeva. Como saídas de águas tem-se o Rio João Pedro que escoar para Lagoa das Malvas, a quantidade de água que infiltra via sedimento, além do uso para abastecimento local, dessedentação animal e irrigação, especialmente arroz. O resultado deste balanço é negativo, conforme Tab 3.

Tab. 3 – Resumo do balanço hidrológico, em escala anual, para as lagoas da Itapeva, dos Quadros, da Pinguela e dos Barros, indicando cada um dos fatores envolvidos com valores em  $m^3 \cdot 10^6$ , e o tempo de descarga (TD), expresso em dias.

Lagoa	TRIB	PREC	DAS	EVAP	ESCOA	USO	INF	$\Sigma_{\text{anual}}$	TD
Itapeva	Três Forquilhas 88,5	236	71,5	158	Cornélios 587	2,9	-113	-443,2	105
	Cardoso 22,1								
Quadros	Maquiné 165	455	176	304	João Pedro 1264	11,9	-101,5	-413,4	66
	Cornélios 587								
Pinguela	João Pedro 1264	131	275,6	90	Dos Postes	0,09	+8,2	+257,4	19

	Ligação Peixoto -				1331				
Barros	Córrego 15,4	113	48,6	78,4	-	352,3	-16,5	-269,8	847

O balanço da Lagoa da Pinguela apresentou uma característica diferenciada das demais, esta não é completamente isolada. Desta forma, está ligada a mais outras duas lagoas, sendo elas Malvas e Palmital, e assim os volumes considerados para este cálculo tratam-na como um complexo lagunar, formado pelas três lagoas. Há no sistema registro da entrada de águas pelo Rio João Pedro, a DAS, bem como há também uma ligação deste sistema com a Lagoa do Peixoto da qual não se tem informação de contribuição, se ocorre ou é negligenciável. O escoamento do sistema se dá pelo Rio dos Postes e o único uso é com a criação animal.

Por fim, para a Lagoa dos Barros não há grandes tributários, apenas pequenos córregos, sendo um deles mais volumoso na porção leste que drena parte da água da encosta, entretanto o uso com irrigação é bastante significativo já que são aproximadamente seis mil quadras de arroz atendidas por esta lagoa (EMBRAPA, 2005; Toeschler *et al.*, 1997). Ainda, conforme informações de engenheiros e técnicos de irrigação das cooperativas locais, a região é uma das quais apresenta maior atraso com relação à otimização das técnicas de plantio e irrigação, e desta forma acaba empregando volumes de água superiores à média. O volume final também foi negativo.

Todos os casos apresentaram somatórios de volume, para o período de um ano, diferentes de zero que seria o esperado já que um balanço segue o princípio da conservação de massas, com resultante nula (Gomes, 2005). Estes resultados podem sofrer uma variabilidade na contabilização dos dados empregados, bem como podem denotar que a normalização dos dados de forma anual, período de tempo empregado, pode não ser o mais correto. Para a natureza, a equalização de balanço de uma lagoa pode se dar naturalmente em períodos diferentes de 365 dias. Ainda, todas as entradas e saídas de um sistema são suscetíveis às mudanças e fenômenos climáticos, como *El Niño* e *La Niña*. Esses também influenciam os usos de água, como por exemplo, em períodos mais quentes registra-se maior retirada tanto para abastecimento público, como para irrigação das culturas, oscilando de ano para ano.

Outro dado relevante para a gestão e compreensão dos sistemas lacustres de uma bacia hidrográfica é o tempo de residência de sua massa d'água (Eq. V), isso porque reflete o trânsito de água no sistema, assim como os nutrientes carreados e o impacto sobre o ambiente local (Santos *et al.*, 2008). Por definição, o termo correto seria tempo de descarga (TD) ou “*flushing time*”, onde o TD “pode ser definido como a média de tempo que uma parcela de água ou substância introduzida permanece no sistema até sair na área de interesse” (Oliveira, 2014).

De acordo com os cálculos descritos anteriormente, os balanços hidrológicos não demonstraram estar equilibrados, porque os valores aqui verificados para a DAS e infiltração possivelmente sejam uma representação ainda reduzida da área. Ainda assim, para o cálculo da TD é possível usar dados de saídas ou aportes, sendo que optou-se por este último como é demonstrado a seguir:

$$TD = \frac{V_t \times 365}{TRIB + PREC + DAS} \quad \text{Eq. V}$$

onde:

TD = tempo de descarga das águas das lagoas, dada em dias;  
Vt = volume total da lagoa, definida por sua área e profundidade, expressa em m<sup>3</sup>;

TRIB = volume de água recebida por meio de tributários no ano, em m<sup>3</sup>;

PREC = volume de água que precipita sobre a lagoa considerando sua área, expresso em m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>;

DAS = volume de água que adveccta do subterrâneo para lagoa, dada em m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>, calculado através da Eq. III, indicado por um VT<sub>a</sub> positivo.

Desta forma, o TD das águas nas lagoas da Itapeva, dos Quadros, da Pinguela e dos Barros seria de poucas semanas até mais de dois anos, conforme Tab. 3. De acordo com Andrade (2010), as variações nos tempos de residência dos corpos d'água estariam relacionadas ao tamanho das suas bacias de drenagem. O autor cita como resultados valores para as lagoas Mirim e Mangueira, respectivamente, de 240 e 180 dias. Entretanto, outro fator determinante para a renovação das águas de um corpo lagunar é sua área e taxa de circulação de águas, tanto entradas quanto saídas, claramente expressa pela equação V. Desta forma, sua interligação ou isolamento é decisivo, podendo ser exemplificado pela Lagoa dos Barros que apresentou período bem maior de renovação que as demais lagoas que são cordiformes, ou seja, possuem ligação com demais sistemas hídricos, enquanto para Barros temos apenas saídas via evaporação, infiltração e uso agrícola, maximizando a permanência das águas por mais extenso período.

Ainda, quanto ao tempo de renovação das águas, ambientes com TD mais elevados são bastante suscetíveis aos aportes antrópicos.

## CONCLUSÃO

A advecção de águas subterrâneas nas lagoas costeiras do Litoral Norte do RS foi comprovada e demonstrou em todos os casos avaliados responsabilidade sobre a descarga de milhões de metros cúbicos por ano aportando nestes corpos hídricos, processo importante no contexto regional.

O balanço hidrológico para cada uma das lagoas resultou em desequilíbrio entre entradas e saídas de águas, além de diferenças nas respostas entre as margens amostradas. Isso indicou possibilidade de resultados apenas parciais para os aportes, especialmente a DAS que pode ser ainda maior, bem como um comportamento caracteristicamente distinto entre a região de encosta, com processo advectivo, e a planície, com processo infiltrante. Tal desempenho, possivelmente, se justifica pela diferença entre as características geológicas de cada uma destas faixas e as forças envolvidas, como a influência do embasamento e a interação com o oceano.

Consideradas as limitações do método, os resultados indicam a necessidade de maior esforço amostral para melhoria na avaliação das fontes de águas subterrâneas e outras características que possam influir neste fluxo de água. Inclusive, a escolha de métodos com melhor aplicabilidade e precisão, como com isótopo radônio (<sup>222</sup>Rn), por serem definidos como traçadores naturais internos.

Os períodos de renovação das águas indicam diferenças entre as lagoas amostradas, conforme suas características de interligação, resultando em tempos de residência da ordem de poucos dias até muitos meses.

É importante considerar que essa interação aquífero-lagoa deva ser acompanhada de forma a avaliar se é intensa e contínua a contribuição de água subterrânea para os corpos lagunares. Em larga escala, isso pode afetar a qualidade e os estoques dos aquíferos, comprometendo os níveis dos mesmos e, conseqüentemente, os

níveis das lagoas pelo efeito de tamponamento hidráulico, que é a relação de equilíbrio entre o manancial subterrâneo e as lagoas, ainda pouco conhecida.

## REFERÊNCIAS

- Andrade, C. F. F. (2010). *Conexões e interações entre a água superficial e subterrânea na região costeira do extremo Sul do Brasil*. Instituto de Oceanografia. Rio Grande, Universidade Federal do Rio Grande. Tese de Doutorado: 177.
- Andrade, C. F. F., Niencheski, L. F. H., Attisano, K. K., Milani, M. R., Santos, I. R., & Milani, I. C. (2011). Fluxos de nutrientes associados às descargas de água subterrânea para a Lagoa Mangueira (Rio Grande do Sul, Brasil). *Química Nova*, *XY*(00), 1–6.
- Attisano, K. K., Niencheski, L. F. H., Milani, I. C. B., Machado, C. S., Milani, M. R., & Zarzur, S. (2008). Contribution from continental groundwater to the shelf zone in Albardão area, RS, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, *56*(3), 189–200.
- Burnett, W. C., Aggarwal, P. K., Aureli, A., Bokuniewicz, H., Cable, J. E., Charette, M. A., Kontar, E., Krupa, S., Kulkarni, K. M., Loveless, A., Moore, W. S., Oberdorfer, J. A., Oliveira, J., Ozyurt, N., Povinec, P., Privitera, A. M. G., Rajar, R., Ramessur, R. T., Scholten, J., Stieglitz, T., Taniguchi, M., & Turner, J. V. (2006). Quantifying submarine groundwater discharge in the coastal zone via multiple methods. *The Science of the Total Environment*, *367*(2-3), 498–543. doi:10.1016/j.scitotenv.2006.05.009
- Burnett, W. C., Bokuniewicz, H., Huettel, M., Moore, W. S., & Taniguchi, M. (2003). Groundwater and pore water inputs to the coastal zone. *Biogeochemistry*, *66*(1/2), 3–33. doi:10.1023/B: BIOG.0000006066.21240.53
- Cable, J. E., Burnett, W. C., & Chanton, J. P. (1997). Magnitude and variations of groundwater seepage along a Florida marine shoreline. *Biogeochemistry*, (38), 189–205.
- Cable, J. E., Burnett, W. C., Chanton, J. P., Corbett, D. R., & Cable, P. H. (1997). Field Evaluation of Seepage Meters in the Coastal Marine Environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *45*(3), 367–375. doi:10.1006/ecss.1996.0191
- Cable, J. E., Burnett, W. C., Chanton, J. P., & Weatherly, G. L. (1996). Estimating groundwater discharge into the northeastern Gulf of Mexico using radon-222. *Earth and Planetary Science Letters*, *144*, 591–604.
- Corbett, D. R., Chanton, J., Burnett, W., Dillon, K., Rutkowski, C., & Fourqurean, J. W. (1999). Patterns of groundwater discharge into Florida Bay. *Limnology and Oceanography*, *44*(4), 1045–1055. doi:10.4319/lo.1999.44.4.1045
- EMBRAPA, C. T. (2005). *Sistemas de Produção, 3, ISSN 1806-9207 Versão Eletrônica. 05/09/2013*.
- Freitas, M. A., Machado, J. L. F., Viero, A. C., Trainini, D. R., Germano, A. O., Glugliotta, A. P., Caye, B. R., Pimentel, G. B., Marques, J. L., Goffermann, M., & Silva, P. R. R. (2004). Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: um avanço no conhecimento das águas subterrâneas no Estado. In *XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas* (p. 14).
- Gallo, R., & Sinelli, O. (1980). Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas na região de Ribeirão Preto (SP). *Revista Brasileira de Geociências*, *10*, 129–140.
- Gomes, S. (2005). *Ajuste e avaliação de um modelo de balanço hídrico decendial e estudo dos limites de sua utilização em algumas localidades no estado do Paraná*. Setor de Ciências Agrárias. Curitiba, Universidade Federal do Paraná. Dissertação de Mestrado: 120.
- INMET. (2013). *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. 29/04/2013*.

- Johannes, R. (1980). The ecological significance of the submarine discharge of groundwater. *Marine Ecology Progress Series*, 3, 365–373. doi:10.3354/meps003365
- Lastoria, G., Gastmanas, D., Chang, H. K., Sinelli, O., & Hutcheon, I. (2007). Evidências da conectividade hidráulica entre os sistemas Aquíferos Serra Geral e Guarani no estado de Mato Grosso do Sul e aspectos ambientais correlacionados. In *XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e I Simpósio de Hidrogeologia do Sul-Sudeste*.
- Lee, D. R. (1977). A device for measuring seepage flux in lakes and estuaries. *Limnology and Oceanography*, 22(1), 140–147.
- Lisboa, N. A., Dani, N., Remus, M. V. D., & Castro, J. (2004). Síntese da ocorrência geológica das águas subterrâneas do Rio Grande do Sul. In *XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*.
- Machado, J. L. F. (2005). *Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul*. Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas. São Leopoldo, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Tese de Doutorado: 254.
- Machado, J. L. F., & Freitas, M. A. (2005). *Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul* (p. 71).
- Mulligan, A. E., & Charette, M. a. (2006). Intercomparison of submarine groundwater discharge estimates from a sandy unconfined aquifer. *Journal of Hydrology*, 327(3-4), 411–425. doi:10.1016/j.jhydrol.2005.11.056
- Niencheski, L. F. H., Windom, H. L., Moore, W. S., & Jahnke, R. a. (2007). Submarine groundwater discharge of nutrients to the ocean along a coastal lagoon barrier, Southern Brazil. *Marine Chemistry*, 106(3-4), 546–561. doi:10.1016/j.marchem.2007.06.004
- Oberdorfer, J. A., Valentino, M. A., & Smith, S. V. (1999). Groundwater contribution to the nutrient budget of Tomales Bay, California. *Biogeochemistry*, 10(3), 199–216. doi:10.1007/BF00003144
- Oliveira, H. A. (2014). Notas sobre conceitos de Tempo de Descarga, Tempo de Residência, Idade e Tempo de Trânsito.
- Paiva, M. L. De. (2011). *Sistema aquífero Guarani: fonte de nutrientes e elementos traços para a zona costeira*. Instituto de Oceanografia. Rio Grande, Universidade Federal do Rio Grande. Monografia: 92.
- Pivel, M. A. G., & Calliari, L. J. (1998). Caracterização preliminar das praias de Torres (RS) sob um enfoque morfodinâmico. In *XI Semana Nacional de Oceanografia*.
- Profill, E. e A. (2005). *1º Etapa do Plano da Bacia do Rio Tramandaí - Relatório da Fase A - Consolidação do Diagnóstico e Balanço Hídrico* (p. 135).
- Rebouças, A. C. (1994). Sistema Aquífero Botucatu no Brasil. In *VIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas* (pp. 500–509).
- Rutkowski, C. M., Burnett, W. C., Iverson, R. L., & Chanton, J. P. (1999). The effect of groundwater seepage on nutrient delivery and seagrass distribution in the northeastern Gulf of Mexico. *Journal of Estuaries*, (4), 1033–1040.
- Santos, I. R., Burnett, W. C., Chanton, J., Mwashote, B., Suryaputra, I. G. N. A., & Dittmar, T. (2008). Nutrient biogeochemistry in a Gulf of Mexico subterranean estuary and groundwater-derived fluxes to the coastal ocean. *Limnology and Oceanography*, 53(2), 705–718. doi:10.4319/lo.2008.53.2.0705

- Santos, I. R., Machado, M. I., Niencheski, L. F., Burnett, W., Milani, I. B., Andrade, C. F. F., Peterson, R. N., Chanton, J., & Baisch, P. (2008). Major Ion Chemistry in a Freshwater Coastal Lagoon from Southern Brazil (Mangueira Lagoon): Influence of Groundwater Inputs. *Aquatic Geochemistry*, 14(2), 133–146. doi:10.1007/s10498-008-9029-0
- Schwarzbold, A., & Schafer, A. (1984). Gênese e morfologia das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul - Brasil. *Amazoniana*, 9(1), 87–104.
- Shaw, R. D., & Prepas, E. E. (1989). Anomalous, short-term influx of water into seepage meters. *Limnology and Oceanography*, 34(7), 1343–1351.
- Simmons, G. M. (1992). Importance of submarine groundwater discharge (SGWD) and seawater cycling to material flux across sediment/water interfaces in marine environments. *Marine Ecology Progress Series*, 84, 173–184.
- Taniguchi, M., Ishitobi, T., Burnett, W. C., & Wattayakorn, G. (2007). Evaluating ground water-sea water interactions via resistivity and seepage meters. *Ground Water*, 45(6), 729–35. doi:10.1111/j.1745-6584.2007.00343.x
- Teixeira, G., & Baptista, S. C. (1994). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil.
- Toescher, C. F., Rigues, A. A., & Carlesso, R. (1997). Volume de água aplicada e produtividade do arroz sob diferentes métodos de irrigação. *Revista Da FZVA*, 4(1), 49–57.
- Tomazelli, L. J. (1990). *Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais Holocênicos do nordeste da Província Costeira do Rio Grande do Sul - com ênfase no sistema eólico*. Instituto de Geociências. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado: 270.
- Tomazelli, L. J., & Villwock, J. A. (2005). Mapeamento Geológico de Planícies Costeiras : o Exemplo da Costa do Rio Grande do Sul. *Gravel*, (3), 109–115.
- Valiela, I., Costa, J., Foreman, K., Teal, J. M., Howes, B., & Aubrey, D. (1990). Transport of groundwater-borne nutrients from watersheds and their effects on coastal waters. *Biogeochemistry*, 10, 177–197.
- Valiela, I., Teal, J. M., Volkmann, S., Shafer, D., & Carpenter, E. J. (1978). Nutrient and particulate fluxes in a salt marsh ecosystem: tidal exchanges and inputs by precipitation and groundwater. *Limnology and Oceanography*, 23(4), 798–812.
- Zimmermann, C. F., Montgomery, J. R. & Carlson, P. R. (1985). Variability of dissolved reactive phosphate flux rates in nearshore estuarine sediments: effects of groundwater flow. *Estuaries*, 8(2B), 228–236.

## Capítulo 2: Fluxo de água subterrânea revelado pelo $^{222}\text{Rn}$ na região Norte Litorânea do RS, Brasil

### RESUMO

A descarga de água subterrânea (DAS) registrada via *seepage meter* indicou a necessidade de uma melhor investigação da região norte litorânea do RS, havendo possibilidade de valores mais expressivos através de medidas com traçador interno, gás radônio, de melhor aplicabilidade e precisão. Foram executadas duas campanhas através de duas metodologias, RAD-AQUA e RAD-*Big Bottle*, em 10 pontos nas margens lagunares das lagoas Itapeva, Quadros, Pinguela e Barros, nove pontos em tributários associados e sete pontos em poços tubulares nas proximidades. Os tributários apresentaram resultados elevados de radônio, enquanto os resultados mais baixos estiveram nas margens lagunares. A resposta entre margens também foi diferenciada, margem leste com média de  $5,5 \text{ dpm L}^{-1}$ , enquanto a margem oeste teve média de  $16,4 \text{ dpm L}^{-1}$ . A DAS, calculada via balanço de massa, para as margens amostradas está entre  $0,38$  e  $28,08 \text{ cm d}^{-1}$  e entre  $220$  a  $53.300 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  para os tributários. Isso resulta que para as lagoas, em termos de valor médio, 22% dos seus volumes totais são devidos a DAS e, para os rios, 43% do volume escoado é constituído de água subterrânea. Foram estabelecidos os *end members* e uma estimativa de milhões de metros cúbicos advectando anualmente na manutenção deste sistema costeiro.

Palavras-chave: radônio, descarga de água subterrânea, lagoas, tributários, *end member*.

## Chapter 2: Groundwater discharge revealed by $^{222}\text{Rn}$ in North Coastal of RS, Brazil

### ABSTRACT

The submarine groundwater discharge (SGD) via *seepage meter* has indicated the need for a more detailed investigation of the Northern Coast of RS using a natural proxy, radon gas, with provides better applicability and accuracy. Two campaigns involving distinct methodologies, AQUA-RAD and RAD-*Big Bottle*, were implemented in 10 sampling stations located in the margin of Itapeva, Quadros, Pinguela and Barros lagoons, nine stations in associated tributaries and seven sampling points in nearby permanent wells. The results from tributaries showed elevated radon activity, while the lower activities were measured in the lagoon margins. The results were also different between margins: eastern margin averaged 5.5 dpm L<sup>-1</sup> while the western margin averaged 16.4 dpm L<sup>-1</sup>. The SGD values, calculated via mass balance, ranged between 0.38 and 28.08 cm d<sup>-1</sup> for the margins and between 220-53300 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> for the tributaries. Furthermore, the SGD for these two categories is 22 and 43%, respectively. This article establish the *end members* of the four systems considered and it was also estimated that a million of cubic meters of ground freshwater flows into these coastal systems.

Keywords: radon, submarine groundwater discharge, lagoon, tributaries, *end member*.

## INTRODUÇÃO

Os dados do capítulo anterior demonstraram relevância sobre o processo de DAS no Litoral Norte do RS, porém indicando a necessidade de uma melhor avaliação para compreensão do processo de advecção (junto à encosta) e de infiltração (na região de planície). O desequilíbrio dos balanços hidrológicos dos corpos lagunares investigados, nos leva a hipotetizar que as taxas de advecção possam ser ainda mais expressivas do que aquelas verificadas com a metodologia *seepage meter*. Sendo assim, torna-se necessário o uso de um *proxy* mais apurado para a quantificação desses processos associados a água subterrânea. Um dos elementos capazes de preencher esta lacuna é o  $^{222}\text{Rn}$ , pois este resulta da parcela de água capaz de movimentar este elemento através dos sedimentos permeáveis, indicando através de um sinal analítico (atividade do elemento) o processo advectivo.

Desta forma, o uso do  $^{222}\text{Rn}$  propicia uma melhor quantificação do balanço hidrológico das lagoas costeiras do Litoral Norte, assim como a aplicação extensiva deste traçador pode preencher as lacunas apontadas por Paiva (2014), que elaborou um modelo conceitual de interação manancial subterrâneo/compartimentos superficiais, identificando para alguns deles os respectivos percentuais de contribuição.

O uso desta ferramenta é essencial para a definição da contribuição de todos os compartimentos hídricos da região norte do RS, tanto superficiais (rios e córregos), como subterrâneos (aquíferos superficiais e profundos), para definir o papel da DAS na sustentação do equilíbrio hídrico superficial.

Ao longo do Litoral do Rio Grande do Sul existe diversos corpos lagunares que fazem de sua costa quase uma extensa planície lacustre. Aproximadamente 40 % dessa planície é composta por lagoas.

Conforme Machado & Freitas (2005), o Litoral Norte do RS é composto por dois distintos cenários, sendo eles o Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I e II, as quais foram consideradas neste estudo, pois caracterizam-se por armazenar seja de forma confinada, semi-confinada e com promoção de recarga de águas no aquífero. Essas características foram levadas em conta no desenho uma rede amostral, com pontos próximos da linha de costa e também pontos mais internalizados no continente, sejam nas margens das lagoas ou mesmo nos rios e córregos que encaminham suas águas para essas lagoas e, possivelmente carregam consigo águas de origem subterrânea.

## MÉTODOS

Considerando o elevado número de estações amostrais, foram executadas duas campanhas, sendo a primeira delas com amostragens entre os meses de novembro de 2012 e março de 2013, e a segunda com coletas entre agosto de 2013 e janeiro de 2014, ambas campanhas em períodos com grande precipitação, média de 180 mm por mês (INMET, 2013). Nestas campanhas, o gás radônio ( $^{222}\text{Rn}$ ) foi empregado como traçador geoquímico da advecção de água doce subterrânea mensurado através do equipamento RAD-7 (Durrige Co., Inc.). A opção de medida do  $^{222}\text{Rn}$  escolhida para as lagoas e rios foi o método RAD-AQUA, no qual a quantificação é feita *in locu*, sendo que a amostra passa por um difusor (Fig. 7) e o gás liberado é enviado ao equipamento para leitura.



Fig. 7 – À esquerda, imagem do difusor empregado no método RAD-AQUA para determinação de  $^{222}\text{Rn}$ , através do qual a amostra é aspergida na câmara liberando o gás radônio que é quantificado. À direita, imagem da garrafa empregada no método RAD-*Big Bottle* na qual é coletada a amostra e o gás radônio é liberado na porção superior, posteriormente sendo quantificado.

Além das amostragens feitas nas lagoas e seus tributários, foram analisados alguns poços tubulares próximos as lagoas, sendo parte com profundidade na faixa de 80-100 m e outros mais superficiais, até 10 m, visando compreender se a água desses poços abastece as lagoas e em que quantidade. Para a análise da água dos poços, empregou-se a metodologia RAD-*Big Bottle*, na qual as amostras são coletadas em recipientes de 10 L e, posteriormente, avaliadas considerando o gás emanado da porção vazia do recipiente, cerca de 2 L (Lee & Kim, 2006).

A escolha do método de leitura é definido em decorrência da perspectiva da concentração de  $^{222}\text{Rn}$ , sendo aqueles com valores mais elevados medidos via RAD-*Big Bottle*, enquanto que aqueles de valores baixos próximos a zero medidos via RAD-AQUA, devido ao menor limite de detecção oferecido pelo método.

A grade amostral está apresentada na Figura 8 e Tabela 1, sendo composta por dez pontos nas margens lagunares, nove pontos amostrados em tributários e sete pontos referentes aos poços tubulares, totalizando 26 pontos.

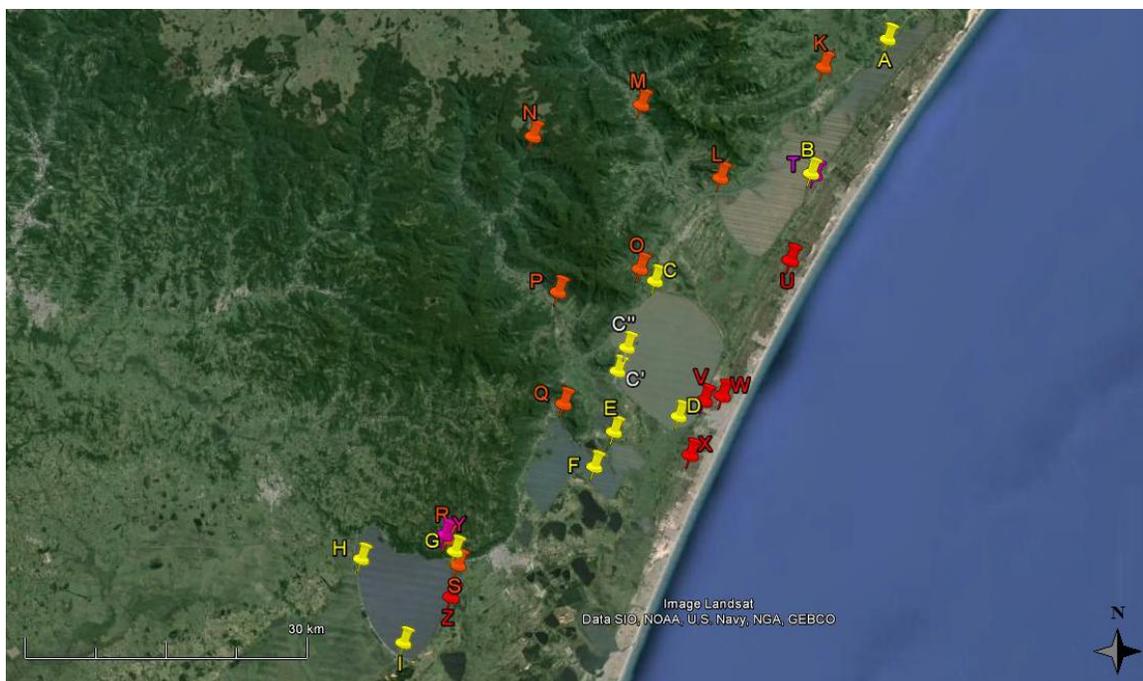


Fig. 8 – Representação da amostragem completa feita nas lagoas, em 11 pontos na cor amarela, nos rios com 9 pontos na cor laranja e em poços tubulares com 7 pontos nas cores vermelho e rosa, da região das quatro lagoas costeiras avaliadas entre novembro de 2012 e janeiro de 2014.

Fonte: Google Earth.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados para os diferentes grupos amostrais estão apresentados na Tab. 4.

### a) Caracterização da região estudada

Tab. 4 – Tabela amostral com resultados para radônio, tipo de ponto amostrado, localização e a metodologia empregada.

Pontos			Metodologia	Resultados			
				<sup>222</sup> Rn	incerteza	<sup>222</sup> Rn	incerteza
Posição	Tipo	Localização		(dpm L <sup>-1</sup> )		(dpm L <sup>-1</sup> )	
				Campanha 1		Campanha 2	
A	lagoa	29° 24,384'S 49° 50,948'O	Difusor	1,43	0,56	1,99	0,66
B	lagoa	29° 32,165'S 49° 55,921'O	Difusor	1,90	0,66	0,49 0,39 0,23	0,31 0,29 0,24
			<i>Big Bottle</i>	67,52	16,72		
C	lagoa	29° 38,444'S 50° 06,172'O	<i>Big Bottle</i>	25,01	11,87	2,13	4,93
						1,65	3,42
						1,16	3,70
						1,12	3,72
C'	tributário	29° 43,647'S 50° 05,590'O	Difusor	0,24	0,3		

Pontos			Metodologia	Resultados			
				<sup>222</sup> Rn	incerteza	<sup>222</sup> Rn	incerteza
Posição	Tipo	Localização		(dpm L <sup>-1</sup> )		(dpm L <sup>-1</sup> )	
				Campanha 1	Campanha 2	Campanha 1	Campanha 2
C''	lagoa	29° 42,281'S 50° 07,982'O	<i>Big Bottle</i>	1,24	2,77		
D	lagoa	29° 46,214'S 50° 04,512'O	<i>Big Bottle</i>	24,87	10,47		
			Difusor			0,27	0,23
						0,24	0,22
						0,22	0,19
					0,21	0,20	
E	lagoa	29° 47,137'S 50° 08,796'O	Difusor	1,07	0,5	0,55	0,40
			<i>Big Bottle</i>	3,94	4,55		
F	lagoa	29° 49,159'S 50° 10,075'O	<i>Big Bottle</i>	7,38	5,78	1,30	3,68
						1,21	3,41
						0,89	2,65
						0,72	2,58
						0,61	2,61
G	lagoa	29° 54,084'S 50° 19,278'O	Difusor	1,16	0,54	0,47	0,36
H	lagoa	29° 54,579'S 50° 25,523'O	Difusor	0,23	0,32	0,39	0,30
I	lagoa	29° 59,386'S 50° 22,680'O	Difusor	0,55	0,44	0,73	0,42
K	tributário	29° 26,025'S 49° 55,164'O	Difusor	20,1	1,92	28,44	2,16
L	tributário	29° 32,481'S 50° 01,905'O	Difusor	6,72	1,12	6,72	1,12
M	tributário	29° 28,343'S 50° 07,190'O	<i>Big Bottle</i>	108,85	21,39		
			Difusor	736	55	33,36	2,38
N	tributário	29° 30,270'S 50° 14,267'O	<i>Big Bottle</i>	11,6 18,9	7,16 7,62		
			Difusor			0,62	0,40
O	tributário	29° 37,763'S 50° 07,171'O	<i>Big Bottle</i>	202,41	30,17	153,91	25,56
P	tributário	29° 39,130'S 50° 12,565'O	Difusor	37,15	18,51	19,56	1,86
Q	tributário	29° 45,555'S 50° 12,149'O	Difusor	2,99	0,68		
			<i>Big Bottle</i>	62,17	15,99	32,01	11,82
R	tributário	29° 53,346'S 50° 19,853'O	<i>Big Bottle</i>	247,68	36,75		
			Difusor			30,22	1,98
S	tributário	29° 54,868'S 50° 19,076'O	Difusor	2,39	0,73	12,32	1,46
T	poço	29° 32,257'S 49° 55,713'O	<i>Big Bottle</i>	351,52	33,77	926,73	64,24
U	poço	29° 37,164'S 49° 57,217'O	<i>Big Bottle</i>	794,64	47,02	616,17	58,34
V	poço	29° 45,000'S 50° 01,633'O	<i>Big Bottle</i>	255,85	32,63	1571,24	89,77

Pontos			Metodologia	Resultados			
				<sup>222</sup> Rn	incerteza	<sup>222</sup> Rn	incerteza
Posição	Tipo	Localização		(dpm L <sup>-1</sup> )		(dpm L <sup>-1</sup> )	
				Campanha 1		Campanha 2	
W	poço	29° 45,283'S 50° 02,833'O	<i>Big Bottle</i>	434,45	43,25	710,05	63,44
X	poço	29° 48,417'S 50° 03,717'O	<i>Big Bottle</i>	421,59	34,93	1399,18	83,61
Y	poço	29° 53,146'S 50° 19,953'O	<i>Big Bottle</i>			157,61	23,63
Z	poço	29° 56,717'S 50° 19,517'O	<i>Big Bottle</i>	676	50,93	1805,19	95,68

Diferentes fatores contribuem para os resultados serem característicos para cada grupo amostral, como pode ser visto na Fig. 9. Uma importante componente é o volume de chuvas, já que implica em acúmulo de águas, minimizando o processo advectivo, bem como diluindo os teores de radônio liberados do manancial subterrâneo. Entretanto, a pluviosidade foi praticamente a mesma para ambas as campanhas, com volumes totais para o 1º e 2º período de 949 mm e 1036 mm, respectivamente (INMET, 2013).

Foram observados valores elevados de radônio nas águas dos poços tubulares e em alguns pontos amostrais nos tributários, entre eles os pontos M, O e R, superiores a 100 dpm L<sup>-1</sup>, indicando que esses corpos hídricos são abastecidos pela água subterrânea.

Entre os pontos com valores de radônio mais baixos, inferiores a 10 dpm L<sup>-1</sup>, destaca-se que a ampla maioria representam amostras coletadas nas margens lagunares, Fig. 9.

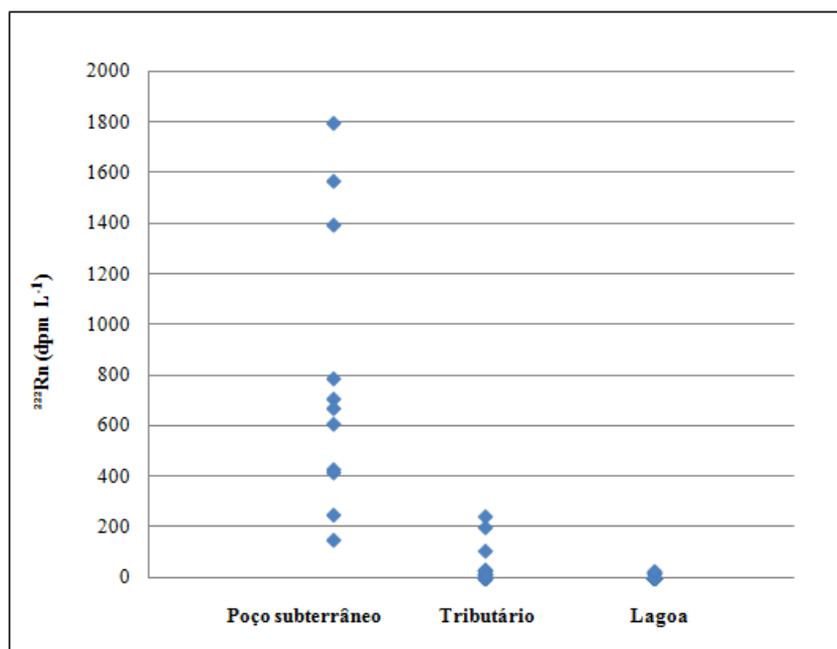


Fig. 9 – Gráfico de dispersão de resultados das atividades de radônio conforme tipologia dos corpos de água amostrados, entre nov/12 e jan/14.

Os resultados estiveram na faixa de 157 a 1805 dpm L<sup>-1</sup> para os poços tubulares, 0,47 a 247 dpm L<sup>-1</sup> para os tributários e 0,23 a 32 dpm L<sup>-1</sup> para as lagoas costeiras. Paiva (2011) registrou dados de radônio para as lagoas da região entre 0,21 e 17 dpm L<sup>-1</sup>, resultados próximos aos verificados por este trabalho. Alguns dados de poços da região próxima a Torres (Tab. 3) registraram atividades na faixa entre 91 e 415 dpm L<sup>-1</sup>. Já para faixa praial da região sul do RS, Andrade (2010) verificou advecção, sendo a atividade em torno de 180 a 400 dpm L<sup>-1</sup> para a Praia dos Concheiros e 20 a 1200 dpm L<sup>-1</sup> para a Praia do Hermenegildo. Diferentemente de Niencheski *et al.*, (2007) e Andrade (2010), que selecionaram e estabeleceram poços de interesse, neste estudo não foi possível escolher, foi necessário fazer uso de poços já estabelecidos pela Companhia para Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, heterogêneos em suas profundidades e localizações, mas que ainda assim contribuíram para este trabalho.

Considerada a magnitude dos dados, os mesmo foram avaliados como grupos por tipo de corpo hídrico - poços tubulares, tributários e lagoas costeiras - mesmo que não sejam homogêneos entre si e tenham diferenças entre campanhas. As diferenças entre os três grupos pode ser explicada pela hidrogeologia regional, conforme Fig. 10, já que a área das calhas dos tributários é de formação alúvio-coluvionar, na qual são efetivas as recargas de águas e é ampla a facilidade de interação manancial subterrâneo/lagoa. Conforme Stellato *et al.* (2008), aquíferos aluviais são frequentemente caracterizados por significativa interação rio/aquífero.

Na região das lagoas há as áreas de planície lagunar que mesclam áreas de aquíferos confinados ou semi-confinados, onde há dificuldade do processo advectivo se estabelecer.

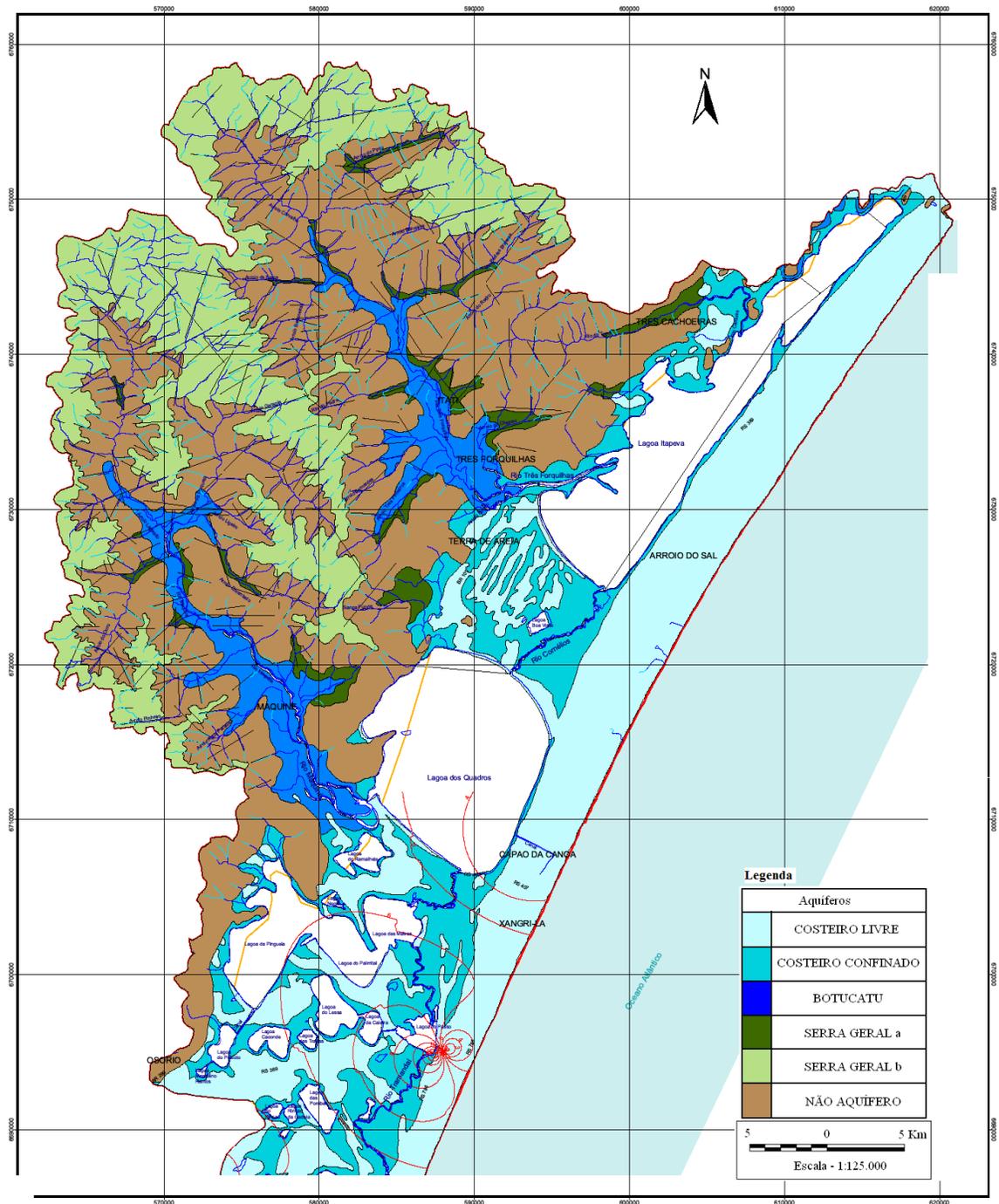


Fig. 10 – Mapa hidrogeológico da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí indicando as áreas de aquíferos e suas respectivas características hidrogeológicas.

Fonte: adaptado de Profill (2005).

Outro dado verificado foi a resposta entre margens nas amostragens lagunares. A margem leste apresenta média da ordem de  $5,5 \text{ dpm L}^{-1}$ , enquanto para margem oeste das lagoas tem média próxima de  $16,4 \text{ dpm L}^{-1}$ . Esta resposta também está vinculada à geologia e hidrogeologia dos pontos amostrados, para os quais há maior interação na

região da encosta, a oeste, se comparados aos pontos localizados na planície lagunar ou marinha.

Inicialmente, umas das observações feitas em campo foi uma redução de forma geral nos valores de radônio da primeira para a segunda campanha, injustificada pelos níveis pluviométricos, uma vez que os valores foram equivalentes durante ambos os períodos. Entretanto, durante a campanha 2 (2013/2014) puderam ser observados maiores cotas de águas acumuladas nas lagoas e rios. Como exemplo, um ponto referencial na Lagoa dos Quadros (localização 29°45'21,0"S 50°04'33,7"W) monitorado pelo Laboratório de Análise de Águas, Sedimentos e Biologia do Pescado do CECLIMAR/UFRGS, para o qual tiveram registro de profundidade média de 2,24 m durante a campanha 1 e 2,61 m durante a campanha 2. Esta diferença denota acúmulo de águas provocando importante diluição nos valores medidos de radônio, além de poder influenciar o gradiente hidráulico de forma e diminuir as taxas de contribuição de água subterrânea.

A indicação da margem em que se localiza o ponto estudado se mostrou um componente importante correlacionada com os resultados registrados. Resultados dos pontos a oeste das lagoas costeiras ou em sua margem oeste mostraram-se mais elevados para radônio.

Por fim, mas não menos importante foi a relação entre os resultados verificados de radônio e as respectivas altitude de cada um dos pontos nas margens lagunares e tributários. De forma direta, para pontos de maior altitude foram quantificados concentrações mais elevadas, sendo que, para pontos com altitudes acima de 25 metros, as médias de radônio são da ordem de 154 dpm L<sup>-1</sup>, enquanto que pontos menos elevados apresentam média próxima de 10 dpm L<sup>-1</sup>. Assim, foi possível observar que pontos localizados na encosta e subida da serra mostraram ter uma maior assinatura do sistema aquífero dada pela atividade de radônio. No capítulo anterior, este dado já havia sido registrado, inclusive no estudo de Paiva (2011), os resultados de radônio apresentaram correlação ( $r^2 = 0,62$ ) com a altitude dos respectivos pontos, empregando esta mesma metodologia, com traçador <sup>222</sup>Rn. Estes resultados fortalecem discussões de que pontos internalizados no continente e de altitude elevada apresentam valores significativos de radônio e conseqüentemente advecção de água subterrânea, indiferente se localizados sobre formação basáltica ou de arenito.

Os resultados de radônio também foram correlacionados com as variáveis pH e condutividade, já que é conhecida a característica da água subterrânea ter altos teores de nutrientes e elementos menores, o que alteraria ambas as variáveis. Entretanto, não foi registrado valor significativo entre os valores, mesmo que sejam descritos por outros autores (Andrade, 2010; Niencheski *et al.*, 2007; Niencheski & Windom, 1994; Oberdorfer *et al.*, 1999; Paiva, 2011) casos com correlações elevadas, já que as águas subterrâneas apresentam maiores teores de íons, caracterizando massas d'água com maior condutividade. Entretanto, é possível observar que a faixa de condutividade para cada grupo amostral (Fig. 11) não são dispares, caracterizando uma influência das águas subterrâneas sobre os tributários e as lagoas. Exceto dois valores obtidos em poços, os quais indicam que esta região é dominada por mais de um aquífero.

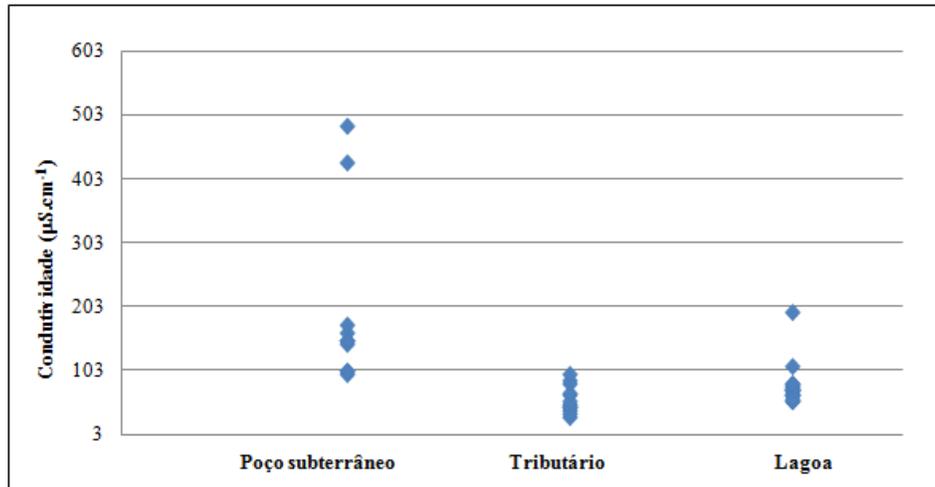


Fig. 11 – Gráfico de dispersão de resultados de condutividade conforme tipologia dos corpos de água amostrados entre nov/12 e jan/14.

b) Balanço de massa

A quantificação da descarga de água subterrânea é, de acordo com diversos autores (Andrade *et al.*, 2008; Burnett *et al.*, 2003; Burnett & Dulaiova, 2003; Corbett *et al.*, 1997; Santos *et al.*, 2008; Tuccimei *et al.*, 2005) estimada através de um balanço de massa, tendo o radônio como traçador dos aportes de água.

As equações envolvidas neste balanço se baseiam no modelo da Fig. 12.

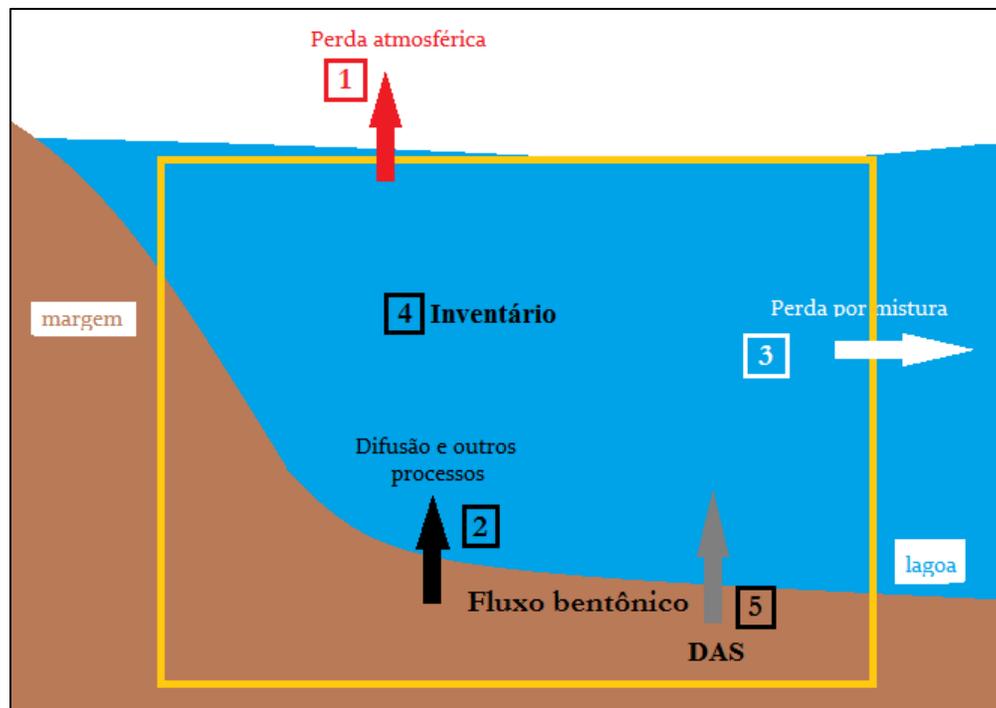


Fig. 12 – Modelo conceitual (adaptado de Burnett & Dulaiova, 2003) onde estão indicados os processos envolvidos na advecção subterrânea de água e no balanço de massa.

O modelo identifica como entradas, o radônio advindo dos fluxos bentônicos, que é composto pela descarga subterrânea de água e pela difusão do sedimento. Ainda, o radônio oriundo do decaimento do rádio, identificado como Inventário. Já as perdas, consideram o próprio inventário de radônio que decai naquela massa de água, a perda atmosférica (já que o mesmo é um gás), e a perda que ocorre pela mistura horizontal com as massas de água adjacentes (Andrade *et al.*, 2008; Burnett *et al.*, 2003; Burnett & Dulaiova, 2003; Corbett *et al.*, 1997; Santos *et al.*, 2011; Tuccimei *et al.*, 2005). Desta forma, a equação do balanço de massa pode ser expressa por (Eq. VI):

$$F_{\text{dif}} + F_{\text{DAS}} + {}^{226}\text{Ra} \cdot \lambda_{222} - {}^{222}\text{Rn} \cdot \lambda_{222} - F_{\text{atm}} - F_{\text{hor}} = 0 \quad \text{Eq. VI}$$

onde:

$F_{\text{dif}}$  – difusão proveniente da concentração de rádio no sedimento que decai para radônio;

$F_{\text{DAS}}$  – advecção de água subterrânea;

$\lambda_{222} \cdot I_{226}$  – excesso de radônio proveniente do decaimento do progenitor  ${}^{226}\text{Ra}$ ;

$\lambda_{222} \cdot I_{222}$  – inventário de radônio na coluna d'água;

$F_{\text{atm}}$  – perda ou evasão atmosférica, já que o radônio é um gás;

$F_{\text{hor}}$  - perda ou mistura horizontal, oriundo da mistura com águas de menor teor de  ${}^{222}\text{Rn}$ .

Cada parcela do cálculo é obtida de forma individual e provem de diversas equações. A obtenção destes dados é descrita a seguir:

i. Obtenção do perda atmosférica  $F_{\text{atm}}$

Para a determinação do  $F_{\text{atm}}$  é realizada a medição da atividade de radônio no ar, já que indica o valor do elemento que está evadindo do corpo de água e sendo disponibilizado na atmosfera, denominado perda atmosférica. Este valor está estritamente relacionado à temperatura da água e o regime de ventos durante a medição, por isso estes parâmetros foram medidos durante a leitura de radônio. A análise de  ${}^{222}\text{Rn}$  no ar foi realizada ao longo das campanhas e próximas ao corpo lagunar. Durante as leituras nenhuma atividade de radônio no ar foi detectada e, portanto, foram consideradas negligenciáveis para os nossos cálculos conforme a equação VII abaixo:

$$F_{\text{atm}} = K_{600} (C_w - \alpha C_{\text{air}}) \quad \text{Eq. VII}$$

sendo  $C_w$  a atividade de  ${}^{222}\text{Rn}$  na água;  $C_{\text{air}}$  a atividade de  ${}^{222}\text{Rn}$  no ar,  $\alpha$  o coeficiente de solubilidade de Ostwald ( $\alpha=0,105+0,405e^{-0,0502T}$ , onde T é a temperatura em ° C) e  $K_{600}$  a “velocidade de pistão”, dada em  $\text{m min}^{-1}$ , sendo este último dado dependente da velocidade do vento.

ii. Atividade de  ${}^{226}\text{Ra}$  no sedimento e nas águas superficiais

A avaliação de rádio nas águas superficiais é feita através do método de impregnação de fibras com óxido de manganês (Moore, 1976) e serve para indicar a quantidade de radônio que será proveniente daquela massa d'água pela concentração de  ${}^{226}\text{Ra}$  que decai para  ${}^{222}\text{Rn}$ . Considerando que os valores para águas doces são bastante baixos (Corbett *et al.*, 1998), optou-se pela não medição e o uso baseado em outros

estudos Santos *et al.* (2008) de um valor único, de 30 dpm L<sup>-1</sup>. Já a medição do <sup>226</sup>Ra nos sedimentos se dá pela necessidade de avaliar a quantidade de radônio gerado pelo rádio proveniente do compartimento bentônico (F<sub>ben</sub>). Esta medida pode ser feita de três diferentes formas conforme Martens *et al.* (1980), Santos *et al.* (2008) e Burnett *et al.* (2003). Entretanto, ressalta-se que para o desenvolvimento dos cálculos para determinação do teor de rádio, assumiu-se que as concentrações foram de 5% do valor de radônio, uma vez que não foram coletadas amostras para geração destes dados. Este valor se baseia no trabalho de outros autores a respeito de sedimentos finos e grosseiros, sendo que para este último, os teores de <sup>226</sup>Ra não representariam mais que 5% da concentração de <sup>222</sup>Rn. A atividade específica de elementos da série radioativa, em geral, cresce com o decréscimo do tamanho de grão, sendo que este crescimento é mais pronunciado em solos com grãos bem rolados, como depósitos aluviais (Surbeck & Voelkel, 1988). Assim, estudo realizado no Rio Amazonas apresentou maioria de urânio solúvel, cerca de 92 %, na sua foz e este esteve associado com a fase de partículas de tamanho coloidal (0,001 - 0,4 ppm) (Moore *et al.*, 1996), assim como Stellato *et al.* (2008), em seu estudo, que registrou diferenças na atividade de <sup>226</sup>Ra em sedimentos siltícos (56 ± 3 Bq kg<sup>-1</sup>) e em sedimentos de cascalho-areia (13 ± 2 Bq kg<sup>-1</sup>). Estudos pretéritos encontraram para a Lagoa Mangueira uma atividade de rádio no sedimento mais lamoso na ordem de 0,14 dpm g<sup>-1</sup> (Santos *et al.*, 2008). Considerando que os sedimentos encontrados nos tributários deste trabalho são majoritariamente representados por blocos rochosos até seixos rolados, assumiu-se que os mesmos vão contribuir pouco com rádio quando comparados com aqueles de fundo lagunar, podendo estes serem negligenciados para o cálculo. Para a Lagoa Mangueira a atividade de rádio encontrada no sedimento foi de 0,14 dpm g<sup>-1</sup> (Santos *et al.*, 2008).

De mesma forma, a partir destes valores aplicou-se a equação abaixo (Eq. VIII):

$$Ex^{222}Rn = {}^{222}Rn_w - {}^{226}Ra_w \quad \text{Eq. VIII}$$

sendo <sup>222</sup>Rn<sub>w</sub> e <sup>226</sup>Ra<sub>w</sub> as concentrações de radônio (222) e rádio (226) na coluna d'água, respectivamente.

Para a obtenção do Inventário de <sup>222</sup>Rn, multiplicou-se o valor obtido de excesso de radônio pela profundidade. Durante as séries temporais, devido a pequena variação de altura de coluna d'água, optou-se por usar um valor único medido com uma régua durante o experimento. Após o inventário foi convertido para Fluxo total de <sup>222</sup>Rn, este cálculo foi feito através da diferença dos valores obtidos a cada intervalo de 30 minutos e assim inferir se fluxos foram positivos ou negativos durante um intervalo de tempo para cada série temporal.

### iii. Perda por mistura - gradiente margem-lagoa

O gradiente amostral do referido trabalho foi realizado para parte dos locais amostrados através de um transecto sentido margem-lagoa com distâncias de zero até cinco metros, equidistantes um metro entre si; este dado nos dá a dimensão da perda por mistura (F<sub>hor</sub>) e por movimento turbulento a partir da fonte (ponto zero), até os níveis se aproximarem dos valores médios da água central da lagoa. Obtido este dado, utilizando a equação de Glover *et al.*, (2005) (Eq. IX) é possível inferir sobre as taxas de perda por mistura horizontal. Glover *et al.*, (2005) propõem o cálculo de advecção/difusão em

estado estacionário com base em um traçador conservativo, como a condutividade, para definir o comportamento de um traçador não-conservativo, o radônio.

$$K_h \frac{\partial^2 C}{\partial^2 X^2} - \frac{\partial C}{\partial X} - \lambda C + P = 0 \quad \text{Eq. IX}$$

A tabela 5 apresenta os dados obtidos a partir do gradiente de mistura Eq. IX, que também pode ser utilizado como forma de obter as taxas de advecção sem considerar todo o balanço de massa, conforme apresentado por Santos *et al.* (2008).

Tab. 5- Dados da amostragem em gradiente de margem lagunar e suas respectivas taxas de advecção.

Ponto	Condutividade (uS cm <sup>-1</sup> )	pH	Profundidade (m)	Temperatura (° C)	Velocidade do vento (m s <sup>-1</sup> )	<sup>222</sup> Rn (dpm L <sup>-1</sup> )	<sup>222</sup> Rn incerteza (dpm L <sup>-1</sup> )	Slope	K <sub>h</sub> (m s <sup>-1</sup> )	Taxa de advecção (cm d <sup>-1</sup> )	Taxa de advecção incerteza (cm d <sup>-1</sup> )
C	66,5	7,02	0,9	28	9	2,13	4,93	-0,34	0,48	16,32	3,26
	64,2	6,97	1			1,65	3,42				
	64,1	7,21	1,1			1,16	3,7				
	63,1	7,05	1,2			1,12	3,72				
D	72,9	4,5	1,1	29,60	7	0,27	0,23	-0,02	1,69	3,38	0,68
	70,4	4,78	0,9			0,24	0,22				
	68,4	5,02	0,7			0,22	0,19				
	68,1	5,5	0,6			0,21	0,20				
B	63,9	7,04	0,4	29,8	4	0,49	0,31	-0,13	2,16	28,08	5,62
	62	7,15	0,4			0,39	0,29				
	61,6	7,37	0,4			0,23	0,24				
F	112,3	6,82	0,3	23	39	1,30	3,68	-0,17	1,12	19,04	3,81
	108,6	6,80	0,45			1,21	3,41				
	107,1	6,79	0,6			0,89	2,65				
	106,7	6,96	0,8			0,72	2,58				
	105,8	6,76	0,9			0,61	2,61				

### c) Aplicação do balanço de massa

De posse de quase todos os dados calculados, para as amostragens feitas através de séries temporais, assumiu-se a perda por mistura como sendo o valor mínimo obtido para a atividade de <sup>222</sup>Rn, como indicado por Paiva (2014) e Burnet *et al.* (2003), em aplicações. Como poucos pontos foram cobertos pelo transecto, esta aproximação se fez necessária a fim de homogeneizar os valores aplicados para os cálculos. Na tabela 6 são apresentados os referidos valores encontrados para as parcelas envolvidas no balanço de massa.

Para a obtenção das taxas de advecção em cada ponto da lagoa investigado foi ainda necessário encontrar o *end member*, ou seja, valores típicos e representativos de entrada e saída de um determinado sistema. Aqui, o *end member* dos corpos lagunares é obtido considerando a média dos resultados de radônio dos poços amostrados nas proximidades destes corpos, conforme Tab. 1, sendo o resultado na faixa de 778 dpm L<sup>-1</sup>. Obtido este referencial, dividiu-se os valores de F<sub>adv</sub> pelo *end member* e o resultado é a

taxa de advecção, dada em  $\text{cm d}^{-1}$ . Desta forma, os resultados alcançados foram, conforme Tab. 6, os seguintes:

Tab. 6 – Dados amostrais em margens lagunares e seus respectivos resultados de fluxos advectivos associados.

Ponto	Condutividade (uS $\text{cm}^{-1}$ )	pH	Profundidade (m)	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ )	$^{222}\text{Rn}$ (dpm $\text{L}^{-1}$ )	$^{222}\text{Rn}$ incerteza (dpm $\text{L}^{-1}$ )	$^{222}\text{Rn}$ fluxo (dpm $\text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )	$F_{\text{atm}}$ (dpm $\text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )	$F_{\text{hor}}$ (dpm $\text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )	Taxa de advecção ( $\text{cm d}^{-1}$ )	Taxa de advecção incerteza ( $\text{cm d}^{-1}$ )
Campanha 1												
C"	-	-	0,30	25,50	2	1,24	2,77	35,0	14,80	-326,60	0,19	0,43
E	-	-	0,20	26,00	20	3,94	4,55	178,9	1762,60	-1071,40	27,32	31,55
F	196,8	7,31	0,35	25,80	9	7,38	5,78	173,0	996,90	-2624,20	14,36	11,25
D	75,1	7,32	0,80	22,10	20	24,87	10,47	518,9	11604,00	-1668,20	155,10	65,29
C	66,8	6,94	0,80	22,50	24	25,01	11,87	473,8	15809,20	-2183,80	206,06	97,80
I	73,2	6,81	0,30	26,10	17	0,55	0,44	-10,56	-46,63	133,36	0,52	0,24
H	74,3	7,18	0,30	24,20	20	0,23	0,32	10,30	-67,15	45,29	0,38	0,12
C'	-	-	0,30	27,35	13	0,24	0,30	-9,90	-121,70	50,62	0,50	0,15
B	57,6	7,21	0,40	22,60	17	1,90	0,66	-307,25	-673,31	516,64	2,72	1,00
E	66	6,75	0,20	22,80	5	1,07	0,50	-250,96	-631,90	289,69	2,07	0,67
A	57,1	7,04	0,15	25,30	12	1,43	0,56	113,53	29,34	243,57	1,01	0,45
G	81,4	7,46	0,15	24,50	17	1,16	0,54	132,40	103,13	163,61	0,60	0,30
Campanha 2												
I	1886	5,97	0,30	21,09	11,6	0,73	0,42	-5,40	-161,67	163,15	0,99	0,34
G	84,1	6,65	0,15	29,17	12,2	0,47	0,36	-9,00	-66,25	120,35	0,55	0,23
A	79,6	5,92	0,15	23,29	3,6	1,99	0,66	-673,31	-1672,47	952,23	6,02	2,02
E	75,9	6,15	0,20	22,00	8,5	0,55	0,40	-89,05	-275,62	187,41	1,15	0,39
H	73,9	5,9	0,30	26,75	5,5	0,39	0,30	-82,09	-143,48	156,97	0,67	0,29

Os resultados calculados ficaram na faixa de 0,4 a 6,0  $\text{cm d}^{-1}$ , com média de 1,43  $\text{cm d}^{-1}$ . Observa-se que os resultados para os primeiros sete pontos desta tabela diferem muito do restante do grupo de dados, isso porque são resultados da aplicação da técnica *Big Bottle*. O uso de *Big Bottle* para a estimativa destas taxas foi empregado neste estudo como tentativa de propor uma amostragem mais rápida. Como a coleta é feita em garrafas, as leituras podem ser feitas depois em laboratório. Entretanto, estas estimativas ainda precisam de refinamento em seus cálculos e no plano de amostragem que dependem de mais coletas.

As taxas de advecção oscilaram para as margens lagunares amostradas, sob ambas as fórmulas de cálculo, estando na faixa de 0,38 e 28,1  $\text{cm d}^{-1}$ . Outros autores mencionam resultados para lagoas na faixa de 0 a 22  $\text{cm dia}^{-1}$  (Lee, 1977) e 0 e 28  $\text{cm dia}^{-1}$  (Santos *et al.*, 2008). Paiva (2011), que amostrou estas mesmas lagoas obteve resultados de 1,5  $\text{cm dia}^{-1}$  para Lagoa da Itapeva; 19,9  $\text{cm dia}^{-1}$  para Lagoa dos Quadros; e 0,9  $\text{cm dia}^{-1}$  para a Lagoa da Pinguela. Estes números denotam que nossos resultados condizem com outras regiões lagunares estudadas, bem como demonstram um processo

advectivo ligeiramente maior da que o observado por Paiva (2011) nos mesmos corpos hídricos.

d) Obtenção dos fluxos de água

De acordo com Paiva (2014), Santos *et al.* (2008), entre outros, verificada a taxa de advecção, dada em  $m\ d^{-1}$  ou  $cm\ d^{-1}$ , é possível calcular o volume de advecção para a faixa marginal de acordo com o gradiente medido e o perímetro da lagoa, conforme Eq. X.

$$DAS_{lag} = T_{adv} \times D_{gr} \times P \quad \text{Eq. X}$$

onde:

$DAS_{lagoas}$  – descarga de água subterrânea para as lagoas, dada em  $m^3 \cdot d^{-1}$ ;

$T_{adv}$  – taxa de advecção para a respectiva lagoa;

$D_{gr}$  – distância, dada em metros, do gradiente registrado perpendicular a margem da lagoa;

$P$  – perímetro da lagoa, dado em metros.

De acordo com Paiva (2014), a partir de um gradiente de medidas como o apresentado na tabela 5, uma forma alternativa de obter resultados de perda por mistura seria, em uma série temporal, considerar o fluxo mais baixo de radônio, como o apresentado na tabela 6 podendo o autor optar pelo formato mais adequado aos seus dados ou ainda, conforme apontado neste trabalho, verificar de acordo com os dois métodos a resposta do sistema de forma a garantir uma maior confiabilidade nos dados originados.

iv. perímetro e distância do gradiente

Para a obtenção da medida estimada do perímetro da lagoa, foram avaliadas as imagens através do programa *Google Earth*<sup>®</sup> e verificou-se os respectivos perímetros para as lagoas Itapeva, Quadros, Pinguela e Barros de 85.350, 43.900, 54.500 e 39.900 metros. Já para a  $D_{gr}$ , as medidas foram feitas durante as medições de atividade de  $^{222}Rn$ , considerando a distância do gradiente e os dados obtidos com a técnica *seepage meter*, conforme Fig. 13.

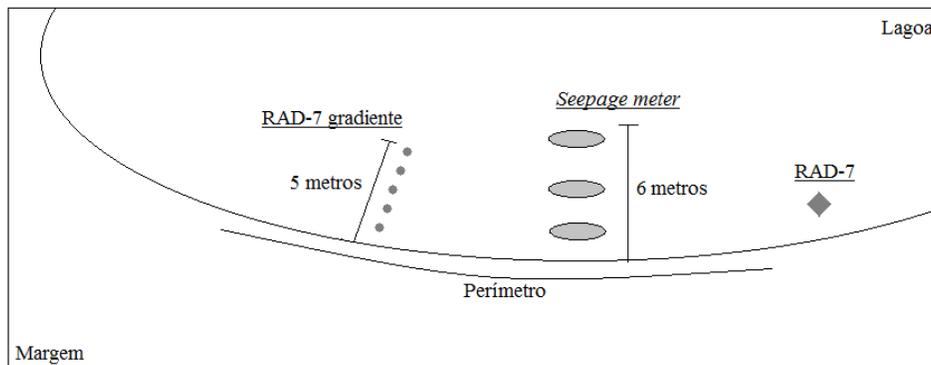


Fig. 13 – Esquema de amostragem marginal nas lagoas e a indicação de alguns componentes para cálculos do volume total de DAS para as lagoas.

Os resultados finais de DAS com o uso deste perímetro de poucos metros nas margens lagunares é empregado considerando que há comprovação do processo até o máximo de 6 metros, conforme dados obtidos com o *seepage meter*. Futuramente, poderá ser ampliada esta estimativa, mas para isso é requerido uma prospecção maior em cada sistema considerado, a fim de considerar todas as heterogeneidades sedimentológicas, verificando inclusive locais que possam ter áreas com fluxos positivos. Os resultados obtidos, agora, nos encorajam e nos estimulam a continuar buscando maior compreensão, mas em função da sua envergadura, deverá fazer parte de um programa de longo prazo.

e) Obtenção da DAS para os tributários

Para a obtenção do fluxo advectivo dos pontos localizados em tributários, a fórmula de cálculo leva em consideração a atividade de  $^{222}\text{Rn}$  medido no tributário e o *end member*, ou seja, resultados de DAS registrados no ponto inicial do processo referente ao tributário e no curso do mesmo, conforme Eq. XI (Peterson *et al.*, 2010).

$$\text{DAS}_{\text{trib}} = \frac{[^{222}\text{Rn}_{\text{trib}}] - [^{226}\text{Ra}]}{[^{222}\text{Rn}_{\text{end member}}]} \cdot Vt \quad \text{Eq. XI}$$

onde:

$\text{DAS}_{\text{trib}}$  – descarga de água subterrânea para os tributários, dada em  $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ;

$[^{222}\text{Rn}_{\text{trib}}]$  – atividade de radônio em algum ponto do percurso do tributário;

$[^{226}\text{Ra}]$  – atividade de rádio proveniente do sedimento;

$Vt$  – vazão total do tributário, dada em volume por período de tempo;

$[^{222}\text{Rn}_{\text{end member}}]$  – atividade de radônio estimada para o ponto mais a montante do tributário, a nascente do mesmo.

v. Obtenção do *end member* referente aos tributários

Assim, a fonte ou ponto inicial do processo advectivo subterrâneo trata-se do ponto mais a montante do curso do rio (sua nascente), que é indicado por sua concentração e denominado simplesmente por *end member* (Attisano, 2012). A definição da concentração do *end member* é essencial para compreensão da amplitude do processo, sendo que seguiu-se o modelo de cálculo empregado por Burnett *et al.* (2010), onde o autor emprega pontos amostrados ao longo do rio de interesse e suas respectivas distâncias da costa. Estes dados possibilitam a construção de um gráfico, como ilustrado na Fig. 14, no qual é feita uma extrapolação com base na distância da nascente com relação à costa. Deste modo, através da curva linear verifica-se o valor de  $^{222}\text{Rn}$  estimado para o *end member*.

Em vista da maior disponibilidade de dados amostrados no curso do rio, Burnett e colaboradores (2010) usaram em seu estudo uma curva exponencial, o que não nos é permitido uma vez que dispomos de apenas dois resultados de  $^{222}\text{Rn}$  para o Rio Mampituba, da foz e do meio do curso do rio. Caso fosse feito uso de uma curva exponencial, estaria-se superestimando a concentração de radônio em mais de três vezes aquele valor obtido via curva linear.

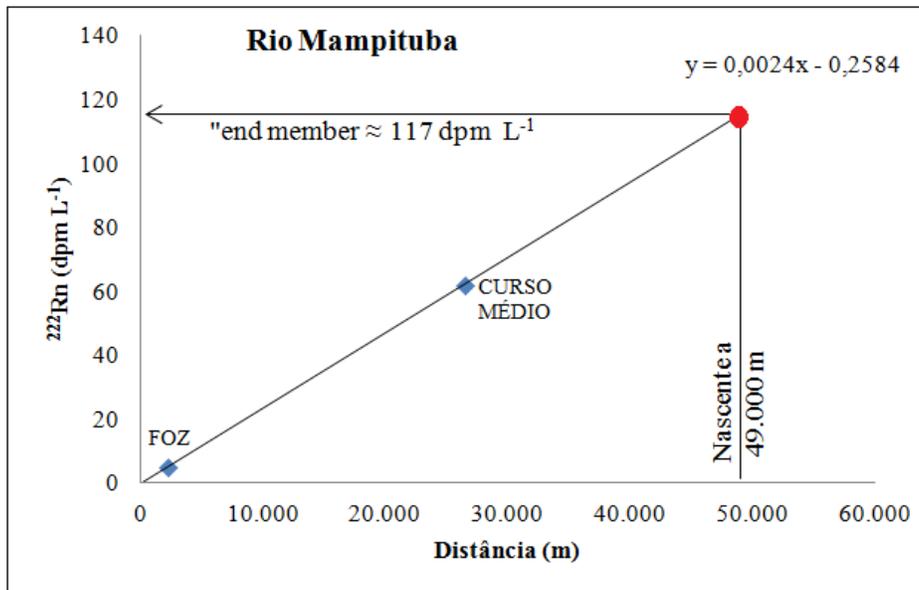


Fig. 14 – Gráfico de radônio em função da distância, com uma extrapolação a montante, mostrando a atividade estimada para este ponto, em  $\text{dpm.L}^{-1}$ , reconhecido como *end member* do sistema de acordo com a localização aproximada da nascente do Rio Mampituba, no município de São Francisco de Paula (Saint-Hilaire, 1999).

Ainda, é possível avaliar se o valor obtido para o *end member* está condizente através da avaliação dos pontos amostrados em poços tubulares da região, já que estes tratam-se de fontes de água subterrânea isoladas, de forma que os valores dos poços sejam ligeiramente maiores que o *end member*. Desta forma, considerou-se as amostras de poços locais, Tab. 7, para os quais obteve-se média na faixa de  $190\text{-}200 \text{ dpm.L}^{-1}$ , o *end member* está compatível com o esperado, pois resultou na faixa de  $115\text{-}120 \text{ dpm.L}^{-1}$ .

Tab. 7 – Pontos amostrais de poços da região do Rio Mampituba e seus respectivos resultados empregados na avaliação e definição do *end member* do sistema.

Ponto	Latitude ( $^{\circ}\text{g}^{\circ}\text{mm,mmm}'$ )	Longitude ( $^{\circ}\text{g}^{\circ}\text{mm,mmm}'$ )	Dist. da costa (m)	$^{222}\text{Rn}$ ( $\text{dpm.L}^{-1}$ )	$^{222}\text{Rn}$ incerteza ( $\text{dpm.L}^{-1}$ )
Poço I	29° 18,531'	49° 46,346'	5940	137,78	8,41
				132,99	8,59
Poço II	29° 23,100'	49° 45,496'	114	356,59	14,03
				415,65	18,71
Poço III	29° 20,789'	49° 46,487'	3840	160,91	9,17
				120,71	13,41
Poço IV	29° 23,458'	49° 46,183'	580	121,07	8,01
				91,17	2,96
Média				192 $\text{dpm.L}^{-1}$	

Aplicando a mesma aproximação descrita acima foi possível encontrar a definição do *end member* para o Rio Três Forquilhas, resultando em  $134 \text{ dpm.L}^{-1}$ , valor

semelhante ao verificado para o Mampituba, confirmando a ordem de valores do *end member* para a região.

Assim, o resultado final é obtido empregando a equação IX onde inseriu-se o valor do *end member*, valor referência 120 dpm L<sup>-1</sup>, e os fluxos dos respectivos tributários. A Tab. 8 traz os resultados finais e as respectivas participações nos fluxos dos tributários.

Tab 8 – Dados da amostragem temporal dos pontos em tributários e seus fluxos advectivos.

Ponto	Condutividade (uS cm <sup>-1</sup> )	pH	Profundidade (m)	Temperatura (° C)	Velocidade do vento (m s <sup>-1</sup> )	<sup>222</sup> Rn (dpm L <sup>-1</sup> )	<sup>222</sup> Rn incerteza (dpm L <sup>-1</sup> )	Taxa de advecção (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> )	Taxa de advecção incerteza (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> )
Campanha 1									
L	51,20	7,21	0,30	23,34	18,50	6,72	1,12	12.870	2.145
N	-	-	0,15	25,00	37,00	11,60	7,16	4.126	2.547
N	32,80	7,03	0,30	23,00	37,00	18,90	7,62	6.722	2.710
P	46,60	7,36	0,70	25,56	11,10	37,15	18,51	53.362	26.588
M	40,80	7,24	0,15	22,00	14,80	108,85	21,39	52.117	10.242
M	-	-	0,15	21,00	35,15	73,60	5,50	35.240	2.633
S	99,40	6,63	0,70	27,64	12,95	2,39	0,73	785	240
Q	58,70	6,80	0,50	20,40	12,95	2,99	0,68	818	186
K	87,90	7,06	0,40	26,73	11,00	20,10	1,92	9.624	919
Q	-	-	0,50	26,76	20,35	62,17	15,99	17.010	4.375
O	47,80	7,36	0,15	20,80	35,15	202,41	30,17	13.845	2.064
R	49,80	6,53	0,10	22,80	7,40	247,68	36,75	16.941	2.514
Campanha 2									
N	-	-	0,30	22,00	8,50	0,62	0,40	220	142
L	-	-	0,30	27,10	4,00	6,72	1,12	12.870	2.137
P	36,00	5,25	0,70	22,00	2,40	19,56	1,86	28.096	2.672
M	-	-	0,15	23,11	12,00	33,36	2,38	15.973	1.140
S	68,40	5,47	0,70	22,00	2,10	12,32	1,46	4.045	479
K	67,40	5,73	0,40	22,00	6,70	28,44	2,16	13.617	1.034
R	56,10	6,93	0,10	22,00	2,90	30,22	1,98	2.067	135
O	-	-	0,15	22,00	11,10	153,91	25,56	10.528	1.748
Q	84,60	6,13	0,50	23,00	20,00	59,07	16,60	16.161	4.542

Para os tributários, as taxas calculadas estiveram na faixa entre 220 a 53.300 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>, representando em média 43 % do aporte via tributários e uma média de mais de 5,68 milhões de m<sup>3</sup> ao ano. Outros estudos obtiveram resultados na faixa de 36,7 e 42,7 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> (Santos *et al.*, 2008), 803 a 75.686 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> (Wu *et al.*, 2004) e 12.960 a 65.664 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> (Corbett *et al.*, 1997). Moore (1996) em seu estudo, inclusive, registrou 40 % do fluxo do rio sendo originário de DAS. Assim, pode-se considerar como importantes os volumes estabelecidos para nossas estações amostrais, já que compõem um percentual significativo da descarga de água dos tributários.

Todos os dados de DAS deste trabalho acompanham suas respectivas incertezas conforme as tabelas anteriores, inclusive foram consideradas nos cálculos, sendo a média para os pontos de tributários de 23%, enquanto para as margens lagunares foi de 38%.

f) DAS e sua contribuição

Consideradas as taxas obtidas via balanço de massa e o perímetro e gradiente a que estes dados estejam associados, obtive-se as descargas de águas subterrâneas prospectadas ponto a ponto, assim como os volumes anuais desta contribuição sumarizados nas Tabs. 9 e 10.

Tab. 9 – Descargas, volumes anuais e participação da DAS sobre o volume das lagoas costeiras do Litoral Norte do RS.

Tipo	Campanha	Ponto	Taxa de advecção (cm d <sup>-1</sup> )	Taxa de advecção incerteza (cm d <sup>-1</sup> )	DAS (m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup> )	DAS incerteza (m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup> )	% Vol. lagoa	% Vol. lagoa incerteza
G	2	C	16,32	3,26	10.460.141	5.732	4%	0%
G	2	D	3,38	0,68	2.166.377	1.187	1%	0%
G	2	B	28,08	5,62	26.243.077	14.380	22%	0%
G	2	F	19,04	3,81	18.937.660	10.377	21%	0%
U	1	I	0,52	0,24	456.693	583	1%	0%
U	1	H	0,38	0,12	330.859	286	0%	0%
U	1	C'	0,50	0,15	481.689	391	0%	0%
U	1	B	2,72	1,00	5.089.703	5.107	13%	0%
U	1	E	2,07	0,67	2.469.203	2.204	1%	0%
U	1	A	1,01	0,45	1.889.855	2.279	6%	0%
U	1	G	0,60	0,30	519.932	711	1%	0%
U	2	I	0,99	0,34	861.008	815	0%	0%
U	2	G	0,55	0,23	478.739	556	0%	0%
U	2	A	6,02	2,02	11.251.846	10.350	1%	0%
U	2	E	1,15	0,39	1.376.957	1.286	1%	0%
U	2	H	0,67	0,29	588.600	690	0%	0%

Legenda: G – medida em gradiente; U – medida única.

A média dos resultados de DAS para amostragem em gradiente é 16,7 cm d<sup>-1</sup>, enquanto para pontos com medidas únicas a média foi de 1,4 cm d<sup>-1</sup>. Os dados obtidos através das medidas em gradientes tendem a ser mais fidedignos já que consideraram de forma analítica a mistura horizontal, parte importante do processo, enquanto quando tem-se apenas medida espacial única (série temporal), o F<sub>hor</sub> é verificado pela menor leitura das replicatas. Desta forma, os dados tendem a sofrer um decréscimo maior quando os dados mínimos não são alcançados em virtude de uma série temporal com pouco tempo de tomada de amostras.

Para as taxas de advecção determinadas, observou-se que a média de descarga nestas lagoas alcança 14,4 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>, via avaliação por gradiente, destacando-se a Lagoa da Itapeva, Pinguela e Quadros, com fluxos de 28,1; 19,0 e 9,8 cm d<sup>-1</sup>,

respectivamente. Estes números perfazem até 22% dos volumes lagunares ao longo de um ano.

Tab. 10 – Descargas, volumes anuais e participação sobre o volume de escoamento dos tributários do Litoral Norte do RS.

Tipo	Campanha	Ponto	Taxa de advecção (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> )	Taxa de advecção incerteza (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> )	DAS (m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup> )	DAS incerteza (m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup> )	% Fluxo tributário	% Fluxo tributário incerteza
T	1	K	9.624	919	3.512.716	335.543	16	2
T	2	K	13.617	1.034	4.970.231	377.486	23	2
T	1	L	12.870	2.145	4.697.603	782.934	5	1
T	2	L	12.870	2.137	4.697.463	780.138	5	1
T	1	M	52.117	10.242	19.022.844	3.738.159	86	17
T	1	M	35.240	2.633	12.862.483	961.191	58	4
T	2	M	15.973	1.140	5.830.060	415.934	26	2
T	1	N	4.126	2.547	1.505.949	929.534	9	6
T	1	N	6.722	2.710	2.453.658	989.253	15	6
T	2	N	220	142	80.257	51.929	0	0
T	1	O	13.845	2.064	5.053.368	753.224	160	24
T	2	O	10.528	1.748	3.842.592	638.167	122	20
T	1	P	53.362	26.588	19.477.225	9.704.534	29	15
T	2	P	28.096	2.672	10.255.034	975.172	15	1
T	1	Q	818	186	298.593	67.908	2	1
T	1	Q	17.010	4.375	6.208.545	1.596.825	49	13
T	2	Q	16.161	4.542	5.898.866	1.657.742	47	13
T	1	R	16.941	2.514	6.183.579	917.501	196	29
T	2	R	2.067	135	754.473	49.433	24	2
T	1	S	785	240	286.410	87.481	2	1
T	2	S	4.045	479	1.476.389	174.962	10	1

Legenda: T – tributário.

Para os tributários, obteve-se fluxos médios de 15.550 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>, refletindo num aporte de água subterrânea de até 19,5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>. Correlacionando a DAS com os fluxos totais destes tributários, verificou-se que as águas subterrâneas respondem, em média, por 43 % deles. Destaque para os rios Três Forquilhas e Maquiné, conforme Tab. 11, que apresentam as descargas mais significativas.

Tab. 11 – DAS para os pontos em tributários e volumes anuais

Tributário	Pontos associados	Taxa de advecção (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> )	DAS (m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup> )	DAS incerteza (m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup> )
Cardoso	K	11.620	4.241.474	356.514
Três Forquilhas	M L	25.814	9.422.091	1.335.671
Maquiné	N P	18.505	6.754.425	2.530.084
Bécker	O	12.186	4.447.980	695.696
Córrego Pinguela	Q	11.330	4.135.335	1.107.492
Cascata Barros	R	9.504	3.469.026	483.467
Córrego Barros	S	2.415	881.400	131.221

A fim de facilitar a compreensão de quão ampla é a contribuição através de fluxos (volume/tempo), a Fig. 15 traz uma compilação dos resultados para margens e tributários, em ambas as campanhas, sendo expressos em m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>.

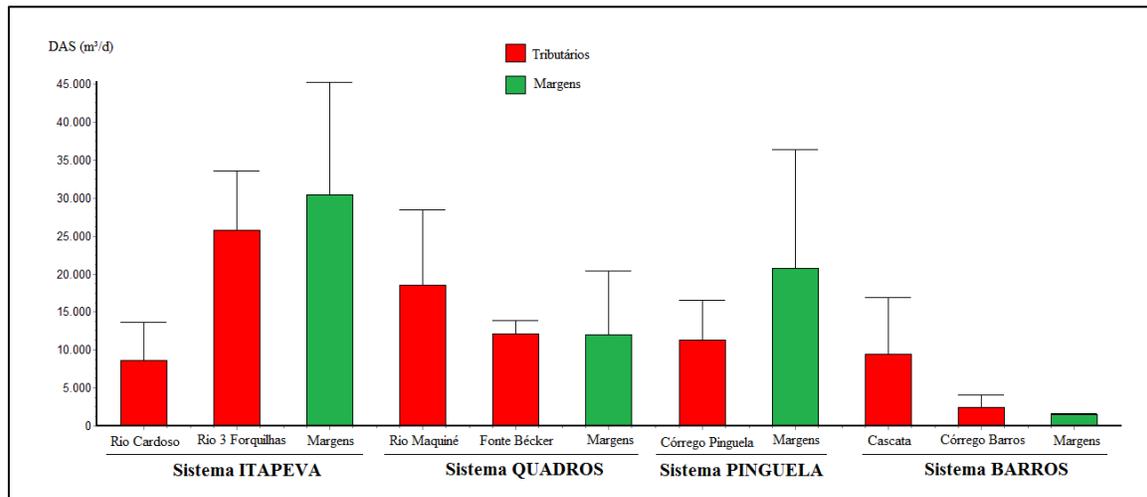


Fig. 15 – Resumo gráfico de DAS para as lagoas e tributários estudados, campanhas 1 e 2, identificadas conforme lagoa associada.

Destacam-se as descargas associadas às lagoas Itapeva e Quadros, tanto em suas margens, como nos tributários que as alimentam, por sua característica significativamente advectiva.

Se for avaliado os volumes anuais dos pontos marginais, tem-se uma contribuição média menor que a observada nos tributários, possivelmente pela característica geológica para cada grupo de pontos amostrais. Os depósitos alúvio-coluvionares, existentes nas calhas de tributários, tendem a apresentar maior facilidade de comunicação com o manancial subterrâneo quando comparados à planície lagunar, ainda que estes tenham taxas importantes.

Contudo, indiferente as campanhas, regiões ou pontos analisados, é importante considerar o volume total de origem subterrânea envolvido no suprimento deste sistema lagunar costeiro, com contribuição média anual estimada em mais de 150 milhões de metros cúbicos, bem como os nutrientes provenientes deste processo.

Andrade (2011) quantificou, de forma pioneira no Brasil, os nutrientes oriundos da DAS em canais da Lagoa Mangueira. O mesmo pode ser estimado neste trabalho empregando os dados de nutrientes verificados nos poços tubulares da CPRM na região, conforme Tab. 12, através dos quais obtive-se concentrações de diversos íons. Tomando como base a advecção média anual, tanto para margens lagunares como para os tributários, pode-se prospectar as quantidades de nutrientes que estão envolvidos neste processo (Tab. 12).

Tab. 12 – Descarga média de nutrientes, e incerteza, que aportam nas lagoas e tributários, conforme fluxo médio de água subterrânea associado.

Nutrientes	Ca <sup>2+</sup> (kg a <sup>-1</sup> )	Ca <sup>2+</sup> incerteza (kg a <sup>-1</sup> )	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (kg a <sup>-1</sup> )	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> incerteza (kg a <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (kg a <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> incerteza (kg a <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (kg a <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> incerteza (kg a <sup>-1</sup> )	SiO <sub>4</sub> <sup>4-</sup> (kg a <sup>-1</sup> )	SiO <sub>4</sub> <sup>4-</sup> incerteza (kg a <sup>-1</sup> )
MARGENS LAGUNARES										
Itapeva	583.326	87.499	220	33	16.796	2.519	35.113	5.267	745.303	111.796
Quadros	140.330	21.049	53	8	4.040	606	8.447	1.267	179.297	26.894
Pinguela	420.943	63.141	159	24	12.120	1.818	25.339	3.801	537.830	80.674
Barros	11.988	13	5	0	345	0	722	1	15.316	17
TRIBUTÁRIOS										
Cardoso	94.279	7.925	36	3	2.715	228	5.675	477	120.458	10.125
Três Forquilhas	209.432	29.689	79	11	6.030	855	12.607	1.787	267.587	37.933
Maquiné	150.136	56.238	57	21	4.323	1.619	9.037	3.385	191.826	71.854
Bécker	98.869	15.464	37	6	2.847	445	5.951	931	126.323	19.758
Córrego Pinguela	91.919	24.617	35	9	2.647	709	5.533	1.482	117.444	31.453
Cascata Barros	77.109	10.746	29	4	2.220	309	4.642	647	98.520	13.730
Córrego Barros	19.592	2.917	7	1	564	84	1.179	176	25.032	3.727
Teores médios (mg L <sup>-1</sup> ) de nutrientes usados como referenciais										
Poços tubulares CPRM	22,2		0,01		0,64		1,34		28,4	

Legenda: Ca<sup>2+</sup> - íons cálcio; NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - íons nitrito; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - íon nitrato; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> - íon fosfato; SiO<sub>4</sub><sup>4-</sup> - íon silicato.

Os teores observados para os canais da Lagoa Mangueira foram obtidos por medida direta, resultando em 0,05 mg L<sup>-1</sup> de nitrito; 0,21 mg L<sup>-1</sup> de nitrato; 0,43 mg L<sup>-1</sup> de fosfato e 71,76 mg L<sup>-1</sup> de silicato (Andrade *et al.*, 2011); valores relativamente próximo aos observados neste trabalho.

Com esta estimativa é possível observar *inputs* da ordem de milhares de kilogramas ao ano destes nutrientes, especialmente, cálcio, nitrato, fosfato e silicato. Em primeira instância, estas contribuições tem reflexo positivo, contribuindo para a produção primária e zonação biológica, entretanto é necessária uma melhor avaliação do que realmente é empregado desta descarga de íons, uma vez que o excesso de alguns

compostos químicos podem ser prejudiciais, inclusive desencadeando processos de eutrofização e contaminação.

Se compara-se os teores aqui registrados para o Litoral Norte (lagoas e tributários) com dados de nutrientes de outro importante corpo hídrico, a Laguna dos Patos, pode-se observar que corresponde a, aproximadamente, 2,7 % do fluxo de nutrientes desta última, número significativo.

g) Representação da região

De posse de todos estes dados, é possível propor uma representação gráfica para a região estudada (Fig.16), no qual ficam esclarecidas as vazões prospectadas para as lagoas e rios, bem como o potencial do *end member*, tanto via nascentes quanto através de poços tubulares.

Através desta representação é possível observar destaque para as lagoas Itapeva e Pinguela dentre as demais. A Itapeva apresenta característica especial por estar bastante próxima e, possivelmente, sob influência do afloramento do aquífero diretamente no oceano, de forma que pode-se inferir sobre sua maior intimidade com o aquífero que resulta em descargas mais elevadas de água subterrânea. Da mesma forma, a Lagoa da Pinguela apresenta uma característica importante que decisivamente interfere nos resultados de DAS, já indicado por Paiva (2011), que é a falha Terra de Areia – Posadas, do Sistema Aquífero Guarani – SAG, que é registrada nas proximidades desta lagoa (Machado, 2005). Em oposição, a Lagoa dos Barros demonstra um baixo fluxo advectivo, que além de ser explicado, possivelmente pela maior distância da costa, pode também ser resultado da formação geológica específica daquela região, a qual é originária do sistema Laguna/Barreira II, diferente das demais que são originárias da Barreira IV (Rosa, 2012).

Com relação aos resultados observados para os poços, o poço amostrado já na subida da Serra Geral, identificado como ponto Y, foi o único daquela região, sendo que os demais estão localizados na planície lagunar. Este ponto diferenciado apresentou teores de radônio significativamente menores que os demais, possivelmente por sua menor interação com o manancial subterrâneo, que nestas regiões de formação basáltica, ocorre através de fraturas ou depósitos aluviais, como nas calhas dos rios locais. Assim, a região de planície, que tem ligação direta com os aquíferos, obteve valores de  $^{222}\text{Rn}$  mais elevados, alcançando mais de  $1.200 \text{ dpm L}^{-1}$ .

Inclusive, através da Fig. 15, é possível observar que os teores de radônio nos poços tubulares crescem, quantitativamente, de norte para sul. Esta diferença entre os mesmos pode ser explicada por variações na composição dos sedimentos e da formação geológica a qual estas águas mantêm contato. Assim como mencionado acima para o caso da Lagoa dos Barros, este poço ponto Z também se encontra mais recuado da costa, pertencendo ao sistema Laguna/Barreira II, diferente dos demais poços, dando ao mesmo justificativa para a diferença nos teores de radônio registrados.

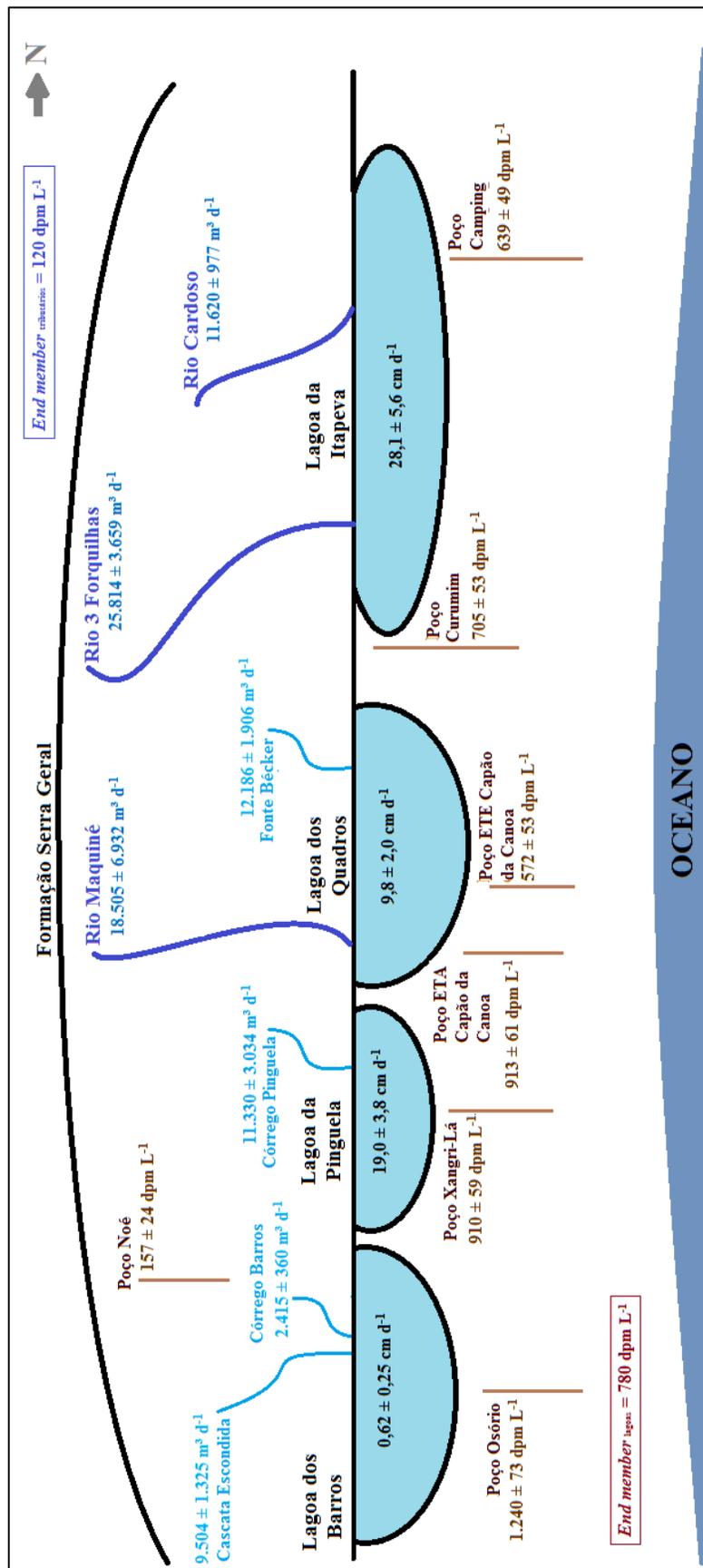


Fig. 16 – Representação para a região do Litoral Norte e os compartimentos avaliados, indicando as atividades de radônio nos poços tubulares, bem como taxas de DAS resultantes calculadas para as lagoas e tributários.

Apesar da pouca disponibilidade de poços rasos foi possível inferir sobre a demanda de água subterrânea através da relação com os dados disponíveis. Entretanto, através dos dados subterrâneos, dos poços da CPRM, estimou-se a descarga de alguns compostos químicos com importante papel nutricional, indicando outra característica de impacto das DAS, sua contribuição na cadeia trófica. Ainda assim, o uso de uma rede de poços mais ampla, contemplando os diversos aquíferos, permitiria aprimorar estes resultados.

Através destes dados observou-se a importância da caracterização realizada, que identificou a diferença entre os valores de contribuição da DAS, bem como o grau de interação manancial subterrâneo com as lagoas e tributários locais. Estes processos se destacam para o ambiente costeiro e adquirem papel fundamental para compreensão de que estes sistemas não estão isolados e sim, interligados por processos que há muito se conhecia, mas que até o presente momento não haviam sido quantificados. Assim, o que é fonte subterrânea, antes negligenciada, deixa de ser uma incógnita para adquirir valores dentro do balanço hidrológico e importância por suas contribuições.

## CONCLUSÃO

A advecção de água subterrânea nas lagoas costeiras do Norte do RS foi melhor avaliada pela técnica com traçadores naturais internos, permitindo a aplicação em pontos variados dos sistemas hídricos locais, assim como resultou em taxas de advecção mais expressivas do que aquelas registradas pela técnica *seepage meter*. Esta metodologia também oportunizou verificar diferenças entre os grupos de pontos amostrados, destacando-se os resultados de radônio nos tributários. Ainda, foi possível estabelecer uma correlação com a altitude dos pontos, corroborando as informações de DAS continente adentro, sobre aquíferos confinados e semi-confinados consideradas suas características.

A correlação entre os resultados de radônio e a condutividade das amostras não se estabeleceu, possivelmente pelo baixo número amostral, entretanto foi possível observar perfis diferenciados entre os grupos amostrais, assim como com radônio, também para a condutividade.

Os dados permitiram o desenvolvimento dos cálculos do balanço de massa para cada ponto avaliado, além de possibilitar o estabelecimento do *end member* dos sistemas, através de amostragens locais associadas aos poços, rios e suas nascentes. Além disto, estabelecido o balanço, obteve-se os valores de DAS diários e anuais estimados por estação amostral, destacando-se volumes dos pontos marginais das lagoas da Itapeva e Pinguela, bem como os tributários Três Forquilhas e Maquiné. Para o conjunto, as medições resultaram em uma estimativa de milhões de metros cúbicos advectando anualmente para este sistema.

Ainda, foi possível observar regionalizações nos resultados e contribuições importantes estabelecidas pela característica hidrogeológica das estações amostrais, como diferenças entre amostras dos poços pelos diferentes aquíferos, ou mesmo entre as lagoas, pelo contexto regional.

## REFERÊNCIAS

- Andrade, C. F. F. (2010). *Conexões e interações entre a água superficial e subterrânea na região costeira do extremo Sul do Brasil*.
- Andrade, C. F. F., Niencheski, L. F. H., Attisano, K. K., Milani, M. R., Santos, I. R., & Milani, I. C. (2011). Fluxos de nutrientes associados às descargas de água subterrânea para a Lagoa Mangueira (Rio Grande do Sul, Brasil). *Química Nova*, XY(00), 1–6.
- Andrade, C. F. F. de, Milani, I. C. B., Attisano, K. K., Niencheski, F. H., Santos, I. R., Burnett, W., ... Contreira, L. (2008). Fluxos subterrâneos para a Lagoa Mangueira (RS). In *Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica*.
- Attisano, K. K. (2012). *Aporte subterrâneo: uma fonte complementar de nutrientes para a Costa Sul do Brasil e plataforma adjacente*.
- Burnett, W. C., Bokuniewicz, H., Huettel, M., Moore, W. S., & Taniguchi, M. (2003). Groundwater and pore water inputs to the coastal zone. *Biogeochemistry*, 66(1/2), 3–33. doi:10.1023/B:BIOG.0000006066.21240.53
- Burnett, W. C., & Dulaiova, H. (2003). Estimating the dynamics of groundwater input into the coastal zone via continuous radon-222 measurements. *Journal of Environmental Radioactivity*, 69(1-2), 21–35. doi:10.1016/S0265-931X(03)00084-5
- Burnett, W. C., Peterson, R. N., Santos, I. R., & Hicks, R. W. (2010). Use of automated radon measurements for rapid assessment of groundwater flow into Florida streams. *Journal of Hydrology*, 380(3-4), 298–304. doi:10.1016/j.jhydrol.2009.11.005
- Corbett, D. R., Burnett, W. C., Cable, P. H., & Clark, S. B. (1997). Radon tracing of groundwater input into Par Pond, Savannah River Site. *Journal of Hydrology*, 203, 209–227.
- Corbett, D. R., Burnett, W. C., Cable, P. H., & Clark, S. B. (1998). A multiple approach to the determination of radon fluxes from sediments. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 236(1-2), 247–253. doi:10.1007/BF02386351
- Glover, D. M., Jenkins, W. J., & Doney, S. C. (2005). Open Ocean 1-D Advection-Diffusion Models. In *Modeling Methods for Marine Science* (pp. 277–288).
- INMET. (2013). *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa*. 29/04/2013.
- Lee, D. R. (1977). A device for measuring seepage flux in lakes and estuaries. *Limnology and Oceanography*, 22(1), 140–147.
- Lee, J. M., & Kim, G. (2006). A simple and rapid method for analyzing radon in coastal and ground waters using a radon-in-air monitor. *Journal of Environmental Radioactivity*, 89(3), 219–228. doi:10.1016/j.jenvrad.2006.05.006
- Machado, J. L. F. (2005). *Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul*.
- Machado, J. L. F., & Freitas, M. A. (2005). *Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul* (p. 71).
- Martens, C. S., Kipphut, G. W., & Klump, J. V. (1980). Sediment-water chemical exchange in the coastal zone traced by in situ radon-222 flux measurements. *Science*, 208(4441), 285–288.
- Moore, W. S. (1976). Sampling 228Ra in the deep ocean. *Deep-Sea Research*, 23, 647–651.
- Moore, W. S., Demaster, D. J., Smoak, J. M., Mckee, B. A., & Swarzenski, P. W. (1996). Radionuclide tracers of sediment-water interactions on the Amazon Shelf. *Continental Shelf Research*, 16(5/6), 645–665.

- Niencheski, L. F. H., Windom, H. L., Moore, W. S., & Jahnke, R. A. (2007). Submarine groundwater discharge of nutrients to the ocean along a coastal lagoon barrier, Southern Brazil. *Marine Chemistry*, 106(3-4), 546–561. doi:10.1016/j.marchem.2007.06.004
- Niencheski, L. F., & Windom, H. L. (1994). Nutrient flux and budget in Patos Lagoon estuary. *Science of The Total Environment*, 149(1-2), 53–60. doi:10.1016/0048-9697(94)90004-3
- Oberdorfer, J. A., Valentino, M. A., & Smith, S. V. (1999). Groundwater contribution to the nutrient budget of Tomales Bay, California. *Biogeochemistry*, 10(3), 199–216. doi:10.1007/BF00003144
- Paiva, M. L. (2011). *Sistema aquífero Guarani: fonte de nutrientes e elementos traços para a zona costeira*.
- Paiva, M. L. (2014). *Sistemas aquíferos Serra Geral e Guarani: relação com a oceanografia*.
- Peterson, R. N., Santos, I. R., & Burnett, W. C. (2010). Evaluating groundwater discharge to tidal rivers based on a Rn-222 time-series approach. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 86(2), 165–178. doi:10.1016/j.ecss.2009.10.022
- Rosa, M. L. C. C. (2012). *Geomorfologia, estratigrafia de sequências e potencial de preservação dos Sistemas Laguna-Barreira do Quaternário costeiro do Rio Grande do Sul*.
- Saint-Hilaire, A. (1999). *Viagem ao Rio Grande do Sul, 1820-1821*.
- Santos, I. R., Burnett, W. C., & Godoy, J. M. (2008). Radionuclides as tracers of coastal processes in Brazil: review, synthesis, and perspectives. *Brazilian Journal of Oceanography*, 56(2), 115–131.
- Santos, I. R., Lechuga-Deveze, C., Peterson, R. N., & Burnett, W. C. (2011). Tracing submarine hydrothermal inputs into a coastal bay in Baja California using radon. *Chemical Geology*, 282(1-2), 1–10. doi:10.1016/j.chemgeo.2010.12.024
- Santos, I. R., Niencheski, F., Burnett, W., Peterson, R., Chanton, J., Andrade, C. F. F., ... Knoeller, K. (2008). Tracing anthropogenically driven groundwater discharge into a coastal lagoon from southern Brazil. *Journal of Hydrology*, 353(3-4), 275–293. doi:10.1016/j.jhydrol.2008.02.010
- Stellato, L., Petrella, E., Terrasi, F., Belloni, P., Belli, M., Sansone, U., & Celico, F. (2008). Some limitations in using <sup>222</sup>Rn to assess river–groundwater interactions: the case of Castel di Sangro alluvial plain (central Italy). *Hydrogeology Journal*, 16(4), 701–712. doi:10.1007/s10040-007-0263-0
- Surbeck, H., & Voelkel, H. (1988). Radionuclide content vs grain size in soil samples. *The Science of the Total Environment*, 69, 379–389.
- Tuccimei, P., Salvati, R., Capelli, G., Delitala, M. C., & Primavera, P. (2005). Groundwater fluxes into a submerged sinkhole area, Central Italy, using radon and water chemistry. *Applied Geochemistry*, 20(10), 1831–1847. doi:10.1016/j.apgeochem.2005.04.006
- Wu, Y., Wen, X., & Zhang, Y. (2004). Analysis of the exchange of groundwater and river water by using Radon-222 in the middle Heihe Basin of northwestern China. *Environmental Geology*, 45(5), 647–653. doi:10.1007/s00254-003-0914-y

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho pode ser destacado por seu caráter pioneiro na quantificação das descargas de águas subterrâneas associado à avaliação do papel das lagoas costeiras, e sistemas adjacentes, no processo de transferência de massa d'água do continente para o oceano.

No primeiro capítulo, a proposta foi a investigar a existência (ou não) da DAS em quatro importantes corpos lagunares da região norte litorânea do RS, inclusive avaliando diferenças entre componentes ambientais e características de margens, no que obteve-se sucesso, através do uso de uma metodologia pouco dispendiosa e eficaz.

Como pretendido, estes primeiros dados já possibilitaram estabelecer um novo balanço hidrológico, no qual ficou esclarecido o papel da DAS e sua contribuição no abastecimento dos sistemas costeiros avaliados. Os resultados foram encorajadores no momento em que comprovaram que mais de 20 % das águas das lagoas Itapeva, Quadros, Pinguela e Barros são de origem subterrânea.

Definidas as descargas, propôs-se estabelecer o tempo de descarga das águas destas lagoas costeiras, para compreender o período de renovação dessas águas, dado regionalmente importante considerando que boa parte das lagoas ali estabelecidas já recebe ou receberá, dentro de pouco tempo, efluentes de estações de tratamento de esgotos dos respectivos municípios do entorno. Os resultados obtidos reforçam a preocupação existente quanto à capacidade suporte das mesmas, visto que algumas apresentam renovação em poucos dias, enquanto que outras necessitam de meses para tal.

Para o segundo capítulo, o interesse estava em reavaliar os valores de DAS verificados no capítulo 1, com o uso de uma metodologia tecnológica e mais precisa. Foram confirmadas as descargas diferenciadas entre margens, assim como foi possível observar taxas ainda mais importantes do que as anteriores. O uso desta técnica sem restrições quanto ao tipo de fundo e profundidade possibilitou o estudo, inclusive, dos rios e riachos de alto relevo, provenientes da Serra Geral adjacente, situação que trouxe resultados inéditos, além da oportunidade de estabelecimento de um balanço de massa.

Com as descargas de água subterrânea determinados foi possível avaliar quão representativas estas contribuições são, inclusive em termos anuais, alcançando percentuais significativos tanto para corpos lagunares como para os tributários. Finalmente, com base em dados de nutrientes oriundos de amostras de poços subterrâneos, foi estimada qual a massa de nutrientes transportada para a costa, algo que resultou em torno de dezenas de toneladas ao ano.

Entretanto, este trabalho estimulou a continuidade desta linha de pesquisa no litoral norte do RS e, muito ainda resta a ser feito. Toda a extensão entre a Lagoa da Itapeva até a Lagoa dos Barros, projetada para a linha de costa merece estudos, para certificação do que chega à costa. Trata-se de uma longa extensão com possibilidade de avaliação, p.e. entre Torres e Balneário Pinhal/RS que significa mais de 115 km, inclusive no que diz respeito aos possíveis paleocanais costeiros ali existentes que podem trazer a luz importantes informações. Estes canais, potencialmente estabelecidos entre a faixa lagoa/praias, poderiam ser avaliados com uso de técnicas diferenciadas, como traçador rádio (de curta e longa vida), radares de penetração, como GPR (*Ground-penetrating radar*), sondas de alta frequência e equipamentos como *push point*, além do próprio radônio. A perspectiva é demonstrar o que, efetivamente, alcança o oceano e sua importância frente à produção primária e reflexos positivos associados a ela, como a melhor compreensão do estoque pesqueiro dessa região da costa do Brasil.

## Anexo: Batimetria da Lagoa dos Barros

### INTRODUÇÃO

Considerando que a Lagoa dos Barros pertence à Bacia Hidrográfica do Litoral Médio (SEMA, 2013), conforme Fig. 17, esta possui dados bastante restritos sobre sua morfologia, faciologia ou química de águas. Diferentemente das demais lagoas abordadas neste estudo que por pertencerem a outra bacia hidrográfica, do Rio Tramandaí, que já tem seu Plano de Bacia (Profill, 2005) e detém maiores informações, o último registro de medidas de profundidade e volume para Lagoa dos Barros são do trabalho de Schwarzbald & Schäfer (1984) indicando apenas profundidade máxima de 4,1 m, média de 2,54 m e volume de  $228,64 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .



Fig. 17 – Mapa da Bacia Hidrográfica do Litoral Médio e, em destaque, a Lagoa dos Barros, avaliada neste estudo.

Fonte: Adaptado de SEMA (2013).

Em vista disto, este anexo descreve o procedimento de atualização da batimetria desta lagoa, visando o uso de informações como volume total e área lagunar da mesma nos cálculos de balanço hidrológico e tempo de residência.

## MÉTODOS

As coletas de dados foram executadas entre os dias 16 de janeiro e 5 de fevereiro de 2014, em 3 episódios, cada qual de forma contínua e com velocidade constante, não superior a 12 Km h<sup>-1</sup> para evitar cavitação do sensor, com apoio de embarcação do Centro de Estudos Costeiros, Limnológicos e Marinhos - CECLIMAR/UFRGS. Foi empregado conjuntamente um sonar Humminbird modelo 141c Fishfinder para as leituras de profundidade e um aparelho GPS, modelo Garmin Map 76, com precisão de 3 metros, para registro das posições.

Os dados de posição geográfica foram transferidos via programa GPS TrackMaker (versão #13.8) e juntamente dos dados de profundidade, compilados na Tab. 13, foram transferidos para o programa Surfer<sup>®</sup> (versão 12 - Demo), os quais geraram a representação gráfica (Fig. 18) em 3D. Ajustes nas medidas foram feitos, já que a profundidade registrada estava em pés (*feets*) e foi transformada em metros, unidade padrão.

Tab. 13 – Tabela com dados de localização e profundidade dos pontos avaliados na Lagoa dos Barros.

Ponto	Localização		Profund. (m)	Ponto	Localização		Profund. (m)
	Longitude	Latitude			Longitude	Latitude	
1	565.093,411	6.687.501,565	-2,13	238	558.170,845	6.684.914,989	-4,27
2	564.873,211	6.687.473,134	-2,44	239	558.120,621	6.684.911,686	-4,57
3	564.805,444	6.687.482,447	-2,74	240	558.034,160	6.684.907,384	-6,10
4	564.785,785	6.687.484,940	-3,05	241	557.973,576	6.684.902,351	-4,57
5	564.750,595	6.687.487,523	-4,27	242	557.870,032	6.684.897,543	-3,05
6	564.709,206	6.687.492,521	-5,49	243	557.783,571	6.684.893,239	-2,44
7	564.678,676	6.687.495,077	-6,10	244	557.696,013	6.684.877,052	-1,52
8	564.658,499	6.687.497,573	-6,10	245	557.630,734	6.684.864,908	-1,22
9	564.602,625	6.687.504,438	-6,10	246	557.573,754	6.684.856,288	-1,22
10	564.572,612	6.687.506,991	-6,40	247	557.522,449	6.684.844,071	-0,91
11	564.462,924	6.687.518,924	-6,40	248	558.543,383	6.683.520,818	-1,22
12	564.327,381	6.687.536,357	-6,40	249	558.576,962	6.683.509,355	-3,05
13	564.288,705	6.687.562,737	-6,71	250	558.714,778	6.683.440,847	-1,83
14	564.204,356	6.687.569,766	-7,01	251	558.765,365	6.683.416,206	-1,83
15	564.146,414	6.687.577,235	-7,32	252	558.848,491	6.683.379,503	-2,13
16	564.075,522	6.687.583,589	-7,32	253	558.922,820	6.683.342,845	-2,74
17	564.020,662	6.687.586,879	-6,71	254	559.065,277	6.683.271,940	-3,35
18	563.888,190	6.687.598,344	-6,71	255	559.190,214	6.683.215,393	-4,27
19	563.758,810	6.687.607,412	-7,32	256	559.289,329	6.683.169,090	-3,96
20	563.707,056	6.687.610,682	-7,62	257	559.406,022	6.683.119,718	-4,27

Ponto	Localização		Profund. (m)	Ponto	Localização		Profund. (m)
	Longitude	Latitude			Longitude	Latitude	
21	563.576,620	6.687.616,187	-6,71	258	559.529,403	6.683.063,176	-4,27
22	563.473,109	6.687.622,130	-6,71	259	559.698,217	6.682.986,771	-5,79
23	563.441,014	6.687.622,909	-7,01	260	559.838,119	6.682.923,597	-4,88
24	563.432,761	6.687.628,306	-8,53	261	559.892,162	6.682.869,209	-4,27
25	563.412,073	6.687.631,991	-7,32	262	560.039,291	6.682.803,021	-3,96
26	563.331,334	6.687.636,614	-7,01	263	560.157,012	6.682.753,636	-3,96
27	563.267,148	6.687.638,764	-7,62	264	560.326,376	6.682.684,946	-3,96
28	563.123,766	6.687.643,743	-7,01	265	560.405,892	6.682.652,420	-3,96
29	563.021,279	6.687.647,894	-6,10	266	560.532,410	6.682.603,568	-3,96
30	562.931,204	6.687.649,595	-6,71	267	560.663,594	6.682.556,482	-3,66
31	562.846,326	6.687.654,832	-7,62	268	560.843,839	6.682.491,290	-3,66
32	562.801,299	6.687.657,465	-6,71	269	560.921,305	6.682.462,924	-3,96
33	562.747,988	6.687.660,145	-7,32	270	561.041,125	6.682.420,057	-4,27
34	562.675,528	6.687.664,122	-7,01	271	561.087,579	6.682.398,400	-4,27
35	562.642,415	6.687.667,876	-7,62	272	561.166,016	6.682.358,732	-4,27
36	562.614,556	6.687.685,273	-7,01	273	561.199,582	6.682.346,063	-2,13
37	562.546,241	6.687.689,820	-7,32	274	561.232,651	6.682.336,963	-3,05
38	562.388,415	6.687.704,382	-7,32	275	561.248,669	6.682.332,713	-1,52
39	562.269,395	6.687.714,563	-7,32	276	561.288,968	6.682.321,195	-1,52
40	562.190,234	6.687.723,924	-7,32	277	561.333,915	6.682.307,868	-1,22
41	562.119,872	6.687.732,641	-7,32	278	561.354,574	6.682.300,620	-0,91
42	562.001,903	6.687.745,786	-7,01	279	561.392,292	6.682.290,305	-0,61
43	561.923,764	6.687.752,762	-7,01	280	561.464,634	6.682.271,475	-0,61
44	561.873,055	6.687.757,801	-7,32	281	561.432,868	6.682.235,389	-0,61
45	561.818,193	6.687.761,079	-7,32	282	561.383,060	6.682.211,888	-0,91
46	561.771,622	6.687.765,500	-7,62	283	561.276,223	6.682.169,085	-0,91
47	561.669,157	6.687.773,799	-7,32	284	561.051,385	6.682.122,772	-1,22
48	561.578,072	6.687.780,250	-7,32	285	560.986,137	6.682.114,216	-0,61
49	561.470,971	6.687.792,734	-6,71	286	560.926,598	6.682.108,599	-0,91
50	561.458,575	6.687.798,153	-7,32	287	560.790,524	6.682.112,321	-1,22
51	561.406,427	6.687.824,003	-7,32	288	560.665,396	6.682.130,247	-1,22
52	561.321,561	6.687.831,607	-7,92	289	560.515,985	6.682.155,439	-0,91
53	561.286,379	6.687.835,963	-7,62	290	560.389,516	6.682.117,490	-0,61
54	561.197,380	6.687.845,371	-7,92	291	560.352,988	6.682.156,330	-1,52
55	561.099,030	6.687.848,886	-7,62	292	560.262,198	6.682.208,542	-1,22
56	560.987,242	6.687.856,636	-7,32	293	560.049,076	6.682.317,893	-1,52
57	560.926,184	6.687.862,916	-7,62	294	559.942,204	6.682.363,057	-1,22
58	560.800,938	6.687.871,332	-7,92	295	564.966,379	6.689.147,171	-2,44

Ponto	Localização		Profund. (m)	Ponto	Localização		Profund. (m)
	Longitude	Latitude			Longitude	Latitude	
59	560.714,508	6.687.877,156	-7,01	296	564.803,937	6.689.172,494	-3,66
60	560.514,758	6.687.894,894	-7,32	297	564.688,075	6.689.193,977	-3,66
61	560.431,955	6.687.901,290	-6,71	298	564.506,015	6.689.229,516	-3,35
62	560.331,537	6.687.905,404	-5,49	299	564.378,273	6.689.256,415	-3,05
63	560.275,118	6.687.908,089	-4,88	300	564.309,490	6.689.271,081	-3,66
64	560.228,542	6.687.911,909	-5,18	301	564.261,861	6.689.272,546	-3,66
65	560.183,549	6.687.921,070	-4,88	302	563.881,714	6.689.349,050	-3,66
66	560.141,623	6.687.923,081	-4,88	303	563.789,139	6.689.368,606	-0,91
67	560.054,138	6.687.925,339	-4,88	304	563.721,904	6.689.382,665	-2,74
68	560.003,909	6.687.923,828	-5,18	305	563.242,449	6.689.479,929	-4,27
69	559.901,901	6.687.921,408	-5,18	306	563.051,584	6.689.516,683	-3,05
70	559.783,327	6.687.919,076	-4,88	307	562.908,302	6.689.543,662	-3,35
71	559.669,933	6.687.917,309	-4,88	308	562.785,755	6.689.574,665	-3,35
72	559.547,239	6.687.919,158	-4,88	309	562.669,932	6.689.604,449	-3,66
73	559.464,398	6.687.918,414	-4,57	310	562.653,393	6.689.609,892	-3,66
74	559.373,282	6.687.919,498	-4,57	311	562.649,788	6.689.613,479	-3,35
75	559.246,408	6.687.914,232	-4,57	312	562.238,031	6.689.689,510	-3,35
76	559.155,807	6.687.914,716	-4,88	313	562.049,759	6.689.728,016	-3,66
77	559.047,603	6.687.915,294	-4,88	314	561.942,702	6.689.751,798	-3,66
78	558.820,936	6.687.934,333	-4,88	315	561.883,741	6.689.764,611	-3,35
79	558.704,950	6.687.931,976	-4,88	316	561.858,405	6.689.771,292	-3,66
80	558.644,891	6.687.931,699	-4,57	317	561.802,976	6.689.767,440	-3,66
81	558.548,055	6.687.928,050	-4,57	318	561.439,872	6.689.841,386	-3,66
82	558.485,913	6.687.925,406	-4,88	319	561.321,425	6.689.865,820	-3,66
83	558.346,618	6.687.920,791	-4,88	320	561.175,572	6.689.897,537	-3,66
84	558.257,554	6.687.918,287	-4,57	321	560.969,198	6.689.941,474	-3,66
85	558.119,298	6.687.914,258	-4,88	322	560.958,881	6.689.948,664	-3,66
86	558.010,037	6.687.910,669	-4,88	323	560.890,985	6.689.937,743	-3,35
87	557.904,391	6.687.905,277	-4,88	324	560.628,735	6.689.990,897	-3,66
88	557.766,101	6.687.894,705	-4,57	325	560.536,155	6.690.011,614	-3,35
89	557.659,420	6.687.889,316	-4,88	326	560.424,449	6.690.038,379	-3,66
90	557.575,651	6.687.909,368	-4,57	327	560.299,297	6.690.068,783	-3,35
91	557.511,404	6.687.900,191	-4,57	328	560.231,045	6.690.087,582	-3,66
92	557.424,391	6.687.893,509	-4,57	329	560.141,458	6.690.087,474	-3,35
93	557.324,946	6.687.885,701	-4,57	330	559.888,506	6.690.137,588	-3,35
94	557.232,231	6.687.877,859	-4,57	331	559.806,795	6.690.157,646	-3,35
95	557.129,153	6.687.868,285	-4,57	332	559.699,736	6.690.182,595	-3,35
96	556.984,642	6.687.855,951	-4,57	333	559.524,416	6.690.225,149	-3,66

Ponto	Localização		Profund. (m)	Ponto	Localização		Profund. (m)
	Longitude	Latitude			Longitude	Latitude	
97	556.895,558	6.687.849,276	-4,57	334	559.457,718	6.690.244,529	-3,66
98	556.818,888	6.687.840,158	-4,88	335	559.391,493	6.690.255,584	-3,66
99	556.741,178	6.687.830,451	-4,88	336	559.245,661	6.690.293,220	-3,35
100	556.656,727	6.687.818,400	-4,88	337	559.091,541	6.690.330,303	-3,35
101	556.582,642	6.687.808,673	-4,88	338	559.008,283	6.690.352,147	-3,35
102	556.491,963	6.687.793,680	-4,88	339	558.818,528	6.690.407,844	-3,35
103	556.399,192	6.687.774,536	-4,27	340	558.738,897	6.690.430,261	-3,35
104	556.334,902	6.687.756,435	-3,05	341	558.663,403	6.690.451,466	-3,35
105	556.319,856	6.687.749,973	-2,44	342	558.652,045	6.690.458,065	-3,66
106	556.295,472	6.687.739,991	-2,13	343	558.523,272	6.690.490,845	-3,35
107	556.283,543	6.687.735,890	-1,83	344	558.460,193	6.690.509,606	-3,35
108	556.274,206	6.687.732,371	-1,52	345	558.290,063	6.690.556,274	-3,35
109	556.267,461	6.687.729,433	-1,22	346	558.016,004	6.690.633,800	-3,35
110	556.251,896	6.687.722,973	-0,91	347	557.716,609	6.690.719,774	-3,35
111	556.241,003	6.687.718,867	-0,61	348	557.555,277	6.690.766,384	-3,66
112	556.226,995	6.687.712,994	-1,22	349	557.446,358	6.690.834,121	-3,35
113	556.217,655	6.687.708,880	-0,61	350	557.096,192	6.690.917,963	-3,35
114	556.752,712	6.686.242,028	-1,52	351	556.573,708	6.691.029,423	-3,35
115	556.797,796	6.686.251,308	-1,22	352	556.339,847	6.691.072,819	-3,35
116	556.834,527	6.686.246,958	-1,83	353	556.162,884	6.691.102,844	-3,35
117	556.845,407	6.686.248,686	-2,13	354	555.957,961	6.691.134,197	-3,66
118	556.856,286	6.686.250,413	-2,44	355	555.830,652	6.691.152,077	-3,66
119	556.873,905	6.686.253,889	-2,74	356	555.691,312	6.692.074,758	-3,05
120	556.894,619	6.686.255,566	-3,35	357	555.621,091	6.692.117,910	-1,83
121	556.903,428	6.686.257,304	-3,66	358	555.601,490	6.692.134,058	-1,83
122	556.935,553	6.686.263,084	-4,27	359	555.586,018	6.692.147,214	-1,52
123	556.949,030	6.686.266,581	-4,57	360	555.566,942	6.692.164,548	-1,52
124	557.002,923	6.686.277,598	-4,88	361	555.618,239	6.692.169,046	-2,13
125	557.054,212	6.686.285,656	-4,88	362	555.710,875	6.692.154,315	-3,35
126	557.139,703	6.686.300,671	-5,18	363	555.878,551	6.692.127,911	-3,35
127	557.188,920	6.686.308,145	-5,18	364	556.333,534	6.692.073,299	-3,35
128	557.275,967	6.686.323,745	-5,18	365	556.553,471	6.692.037,703	-3,05
129	557.429,828	6.686.346,132	-4,88	366	556.704,595	6.692.016,126	-3,35
130	557.657,763	6.686.377,642	-4,88	367	556.808,632	6.692.003,111	-3,35
131	557.715,265	6.686.385,665	-4,88	368	556.824,184	6.692.006,003	-3,35
132	557.795,554	6.686.395,352	-4,57	369	557.268,837	6.691.958,539	-3,35
133	557.852,557	6.686.406,943	-4,57	370	557.395,620	6.691.937,673	-3,35
134	557.828,259	6.686.413,014	-4,88	371	557.635,731	6.691.898,384	-3,35

Ponto	Localização		Profund. (m)	Ponto	Localização		Profund. (m)
	Longitude	Latitude			Longitude	Latitude	
135	558.066,022	6.686.442,681	-4,57	372	557.835,488	6.691.867,622	-3,35
136	558.246,851	6.686.473,832	-4,88	373	557.911,047	6.691.856,528	-3,35
137	558.639,049	6.686.534,774	-4,88	374	558.105,167	6.691.837,680	-3,35
138	558.872,216	6.686.575,148	-4,57	375	558.305,946	6.691.804,527	-3,35
139	559.013,635	6.686.592,823	-4,88	376	558.591,074	6.691.758,441	-3,05
140	559.074,779	6.686.603,792	-4,88	377	558.920,696	6.691.703,790	-3,35
141	559.259,497	6.686.586,755	-4,57	378	559.133,890	6.691.668,772	-3,05
142	559.440,825	6.686.613,128	-4,57	379	559.597,990	6.691.581,877	-3,05
143	559.524,740	6.686.622,783	-4,57	380	559.978,268	6.691.510,872	-3,05
144	559.606,058	6.686.630,668	-4,57	381	560.230,229	6.691.463,140	-3,05
145	559.663,550	6.686.636,303	-4,27	382	560.382,844	6.691.432,588	-3,05
146	559.873,393	6.686.670,243	-4,57	383	560.386,476	6.691.433,757	-3,35
147	560.125,709	6.686.708,110	-4,57	384	560.535,494	6.691.408,573	-3,05
148	560.201,857	6.686.717,207	-4,27	385	560.745,082	6.691.378,893	-3,05
149	560.285,758	6.686.723,884	-4,57	386	560.952,059	6.691.345,658	-3,05
150	560.405,801	6.686.713,124	-4,27	387	561.312,705	6.691.286,009	-3,05
151	560.891,848	6.686.702,735	-4,27	388	561.477,246	6.691.258,942	-3,35
152	561.034,121	6.686.686,496	-4,27	389	561.623,667	6.691.233,163	-3,05
153	561.175,918	6.686.677,985	-4,27	390	561.940,340	6.691.183,249	-3,05
154	561.311,949	6.686.656,427	-4,57	391	562.481,537	6.691.091,046	-3,35
155	561.509,291	6.686.675,544	-4,27	392	562.769,706	6.691.038,891	-3,35
156	561.617,411	6.686.661,865	-4,27	393	562.783,641	6.691.030,490	-3,35
157	561.834,893	6.686.671,948	-4,57	394	563.097,088	6.690.961,538	-3,05
158	562.077,294	6.686.694,370	-4,27	395	563.729,842	6.690.853,891	-3,35
159	562.196,424	6.686.705,590	-4,57	396	564.153,508	6.690.860,960	-3,05
160	562.279,798	6.686.710,472	-4,27	397	564.360,121	6.691.035,721	-2,13
161	562.457,953	6.686.723,141	-4,27	398	565.020,756	6.691.621,566	-1,83
162	562.591,098	6.686.740,817	-4,27	399	565.429,273	6.691.952,653	-1,52
163	562.690,544	6.686.749,766	-4,27	400	565.462,504	6.691.966,724	-1,22
164	562.633,433	6.686.720,367	-4,27	401	565.494,678	6.691.977,235	-0,61
165	562.822,980	6.686.733,560	-4,27	402	565.455,302	6.691.975,089	-1,22
166	563.013,188	6.686.680,762	-4,27	403	565.316,634	6.691.998,505	-1,22
167	563.125,420	6.686.662,289	-3,96	404	565.245,746	6.692.010,207	-1,52
168	563.267,595	6.686.629,377	-4,27	405	565.070,349	6.692.041,554	-2,13
169	563.365,819	6.686.605,632	-3,96	406	565.021,714	6.692.050,162	-2,44
170	563.483,168	6.686.577,020	-3,96	407	564.726,263	6.692.100,040	-2,74
171	563.602,574	6.686.546,018	-4,27	408	564.494,452	6.692.138,840	-2,74
172	563.728,157	6.686.509,034	-3,96	409	564.333,015	6.692.166,527	-2,74

Ponto	Localização		Profund. (m)	Ponto	Localização		Profund. (m)
	Longitude	Latitude			Longitude	Latitude	
173	563.799,498	6.686.491,978	-4,27	410	564.251,797	6.692.183,643	-3,05
174	563.925,656	6.686.465,095	-4,27	411	564.176,812	6.692.203,694	-2,74
175	563.932,478	6.686.481,106	-3,96	412	563.599,747	6.692.280,728	-2,44
176	563.948,522	6.686.480,419	-3,66	413	563.409,671	6.692.282,410	-2,44
177	564.005,944	6.686.473,548	-3,66	414	563.142,098	6.692.318,414	-2,74
178	564.108,327	6.686.453,338	-3,66	415	562.937,697	6.692.351,675	-2,74
179	564.172,989	6.686.445,236	-3,66	416	562.530,497	6.692.427,095	-3,05
180	564.220,027	6.686.433,074	-3,66	417	562.269,220	6.692.478,498	-3,05
181	564.266,026	6.686.420,324	-3,35	418	561.981,115	6.692.549,066	-2,74
182	564.279,985	6.686.417,270	-3,05	419	561.646,374	6.692.616,915	-3,05
183	564.288,258	6.686.415,439	-2,44	420	561.422,876	6.692.663,926	-3,05
184	564.307,397	6.686.412,950	-2,13	421	561.079,386	6.692.743,100	-2,74
185	564.320,325	6.686.410,497	-1,83	422	560.884,361	6.692.788,161	-3,05
186	564.358,089	6.686.406,116	-1,52	423	560.818,695	6.692.809,327	-2,74
187	564.409,841	6.686.403,438	-1,22	424	560.531,592	6.692.876,880	-2,74
188	564.465,727	6.686.399,546	-0,91	425	559.742,860	6.692.998,259	-3,35
189	563.739,955	6.684.871,832	-1,22	426	559.389,060	6.693.090,513	-3,05
190	563.783,315	6.684.851,370	-1,22	427	559.077,158	6.693.173,022	-2,44
191	563.701,016	6.684.851,250	-1,22	428	559.045,120	6.693.187,459	-2,74
192	563.537,535	6.684.865,268	-1,83	429	558.853,762	6.693.243,165	-2,44
193	563.195,171	6.684.915,379	-3,66	430	558.566,674	6.693.317,800	-2,74
194	563.147,590	6.684.922,190	-4,57	431	558.439,949	6.693.352,351	-2,74
195	562.902,441	6.684.956,281	-4,27	432	558.012,683	6.693.465,753	-2,74
196	562.764,347	6.684.974,899	-4,88	433	557.791,778	6.693.519,216	-2,74
197	562.596,215	6.684.990,721	-4,57	434	557.594,670	6.693.567,201	-2,74
198	562.537,207	6.684.990,451	-3,66	435	557.362,948	6.693.633,195	-2,74
199	562.427,462	6.684.988,099	-4,27	436	557.405,185	6.693.687,071	-2,44
200	562.368,460	6.684.989,026	-4,27	437	557.526,699	6.693.745,292	-2,44
201	562.364,349	6.684.994,399	-8,53	438	557.856,569	6.694.024,155	-2,13
202	562.343,065	6.684.983,224	-8,53	439	557.961,321	6.694.144,875	-2,13
203	562.254,003	6.684.977,187	-7,92	440	557.928,484	6.694.205,680	-1,83
204	561.975,475	6.684.966,861	-8,23	441	557.875,423	6.694.262,429	-1,83
205	561.898,348	6.684.966,103	-8,53	442	557.722,335	6.694.410,053	-1,83
206	561.777,744	6.684.965,588	-7,92	443	557.676,651	6.694.491,134	-1,83
207	561.663,351	6.684.965,037	-8,23	444	557.636,742	6.694.587,047	-1,52
208	561.595,550	6.684.966,009	-9,14	445	557.595,863	6.694.696,042	-1,52
209	561.519,986	6.684.967,024	-9,45	446	557.587,454	6.694.772,768	-1,83
210	561.451,662	6.684.966,809	-8,53	447	557.609,131	6.694.857,067	-1,52

Ponto	Localização		Profund. (m)	Ponto	Localização		Profund. (m)
	Longitude	Latitude			Longitude	Latitude	
211	561.365,640	6.684.948,858	-4,27	448	557.643,101	6.694.913,957	-1,22
212	561.317,472	6.684.943,190	-3,96	449	557.684,828	6.694.968,429	-1,22
213	561.206,175	6.684.940,825	-4,27	450	557.758,193	6.695.129,141	-0,91
214	561.128,000	6.684.937,690	-3,96	451	557.715,321	6.695.253,603	-1,22
215	560.912,702	6.684.941,849	-3,96	452	557.631,611	6.695.295,648	-1,22
216	560.805,048	6.684.943,036	-3,96	453	557.493,602	6.695.356,996	-1,22
217	560.720,164	6.684.943,502	-4,27	454	557.372,068	6.695.398,641	-1,52
218	560.592,311	6.684.942,419	-4,27	455	557.251,550	6.695.436,713	-1,52
219	560.483,609	6.684.941,230	-4,88	456	557.079,204	6.695.470,888	-1,52
220	560.383,191	6.684.940,590	-3,96	457	556.944,307	6.695.331,887	-1,83
221	560.326,774	6.684.940,897	-4,27	458	556.906,763	6.695.284,524	-1,83
222	560.264,635	6.684.935,886	-3,96	459	556.715,148	6.695.197,536	-1,83
223	560.150,240	6.684.934,725	-3,96	460	556.493,614	6.695.033,401	-2,13
224	560.011,521	6.684.934,289	-4,27	461	556.362,992	6.694.917,554	-2,13
225	559.917,829	6.684.933,013	-4,27	462	556.218,440	6.694.812,476	-2,44
226	559.814,316	6.684.934,168	-3,96	463	556.107,158	6.694.729,817	-2,44
227	559.631,612	6.684.935,748	-4,27	464	555.954,774	6.694.611,698	-2,44
228	559.378,521	6.684.938,298	-4,27	465	555.839,811	6.694.517,166	-2,44
229	559.234,630	6.684.938,474	-4,27	466	555.723,763	6.694.412,533	-2,44
230	559.152,328	6.684.937,726	-4,27	467	555.655,557	6.694.343,920	-1,83
231	558.957,729	6.684.941,142	-4,27	468	555.618,042	6.694.300,714	-1,52
232	558.622,352	6.684.945,896	-4,27	469	555.582,067	6.694.254,527	-1,22
233	558.603,252	6.684.955,508	-4,27	470	555.526,839	6.694.191,199	-1,22
234	558.559,721	6.684.945,633	-4,27	471	555.460,353	6.694.155,270	-0,91
235	558.540,558	6.684.943,356	-4,27	472	555.441,171	6.694.152,394	-0,91
236	558.363,470	6.684.930,025	-4,57	473	555.429,769	6.694.151,262	-0,61
237	558.306,514	6.684.926,164	-4,27				

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As profundidades média, máxima e mínima obtidas foram de 3,82; 9,45 e 0,61 m, respectivamente. A Fig. 18 demonstra que maior parte da lagoa não alcança mais de quatro metros, excetuando duas depressões que chegam a registrar duas vezes mais esse valor.

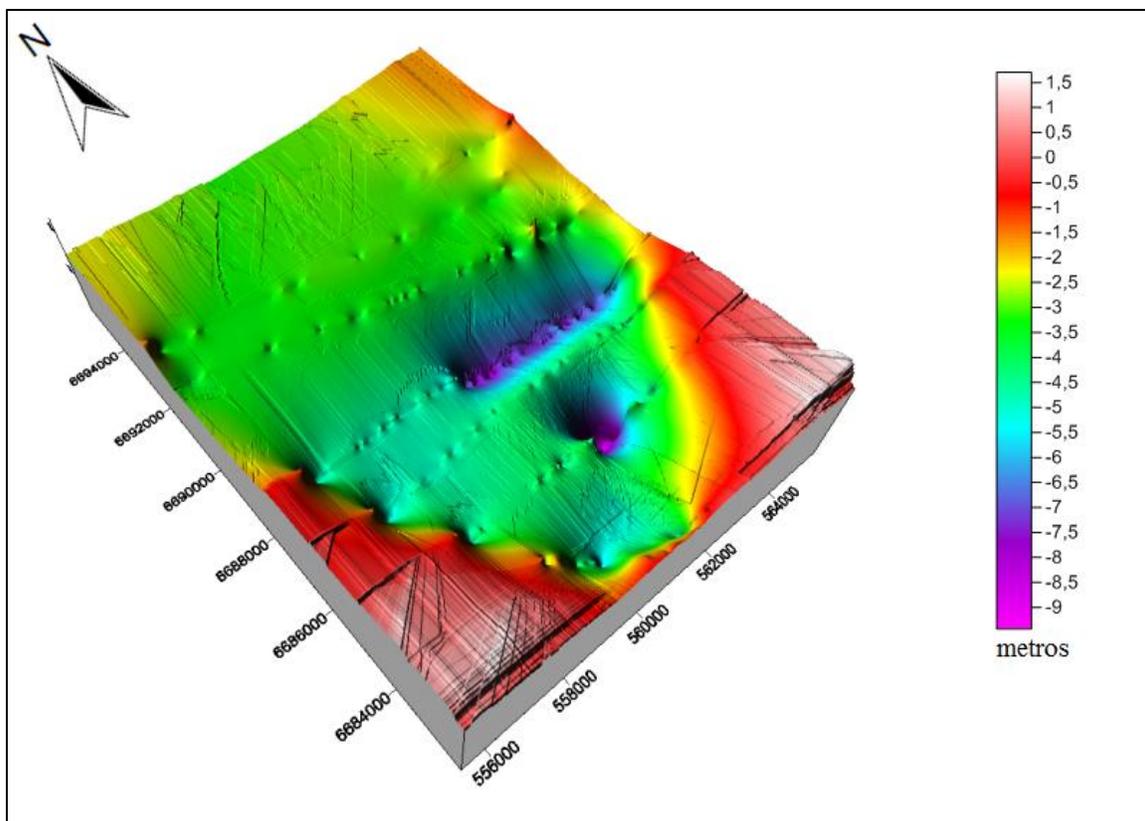


Fig 18 – Representação gráfica da batimetria da Lagoa dos Barros e respectiva escala, dada em metros.

Além desta imagem, foi possível obter os dados de área e volume da lagoa, conforme Tab. 14.

Tab. 14 – Área e volume da Lagoa dos Barros resultantes da batimetria executada neste estudo.

Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
124.788.643	411.397.260

Esta atualização dos dados é importante e indispensável para o cálculo do balanço hidrológico com dados mais exatos, além de servir de ferramenta para outros estudos neste corpo lagunar.

### **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

- Profill, E. e A. (2005). *1º Etapa do Plano da Bacia do Rio Tramandaí - Relatório da Fase A - Consolidação do Diagnóstico e Balanço Hídrico* (p. 135).
- Schwarzbold, A., & Schafer, A. (1984). Gênese e morfologia das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul - Brasil. *Amazoniana*, 9(1), 87–104.
- SEMA - Secretaria de Meio Ambiente. (2013). *Bacias Hidrográficas do RS - Região Hidrográfica do Litoral, Bacia Hidrográfica do Litoral Norte*. 26/04/2014.