

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA OCEÂNICA

**A LAGOA DOS PATOS COMO RECARGA DOS AQUÍFEROS
COSTEIROS ADJACENTES**

CÁTIA MILENE EHLERT VON-AHN

Dissertação apresentada à comissão de curso de pós graduação em Engenharia Oceânica da Universidade Federal do Rio Grande como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Orientador: Dr. Carlos Francisco Ferreira de Andrade

Co-orientador: Dr. Luís Felipe Hax Niencheski

Rio Grande, agosto de 2015

AGRADECIMENTOS

Registro aqui a imensa gratidão a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para que o objetivo deste trabalho fosse alcançado.

Em especial,

- Aos meus orientadores, Profs. Carlos Andrade e Felipe Niencheski, pela imensa ajuda, paciência, atenção e incentivo que me foram dados durante todo esse tempo que trabalhamos juntos, pois sem essa colaboração não seria possível a realização deste trabalho. Pela amizade e companheirismo que se estabeleceu durante este período.

-Ao grande amigo Gabriel, que juntos desenvolvemos este trabalho e que deixamos nossa vida entre prédios, para viver nessa imensidão de Cassino, e que conseguimos fazer com que a convivência diária nestes dois últimos anos fosse mais leve.

-Aos companheiros de trabalho, que o Laboratório de Hidroquímica me proporcionou: Camila, Carlos, Daniel, Kayla, Rafa, Thayane e Wanderlen, em especial ao Leonardo pelas discussões e contribuições no trabalho. Vocês tornaram esta jornada acadêmica muito mais interessante, intelectual e divertida.

-Aos amigos da Engenharia Oceânica, Profs Fontoura e Marco, ao colega de disciplinas Thiago. Em especial a Deborah, Lilliam e o Simão pela amizade, convivência, críticas, conselhos, diversão e presença nos momentos mais estressantes de uma vida acadêmica e dos momentos felizes que tivemos o privilégio de compartilhar.

-Ao Renan, agradeço pela ajuda na redação deste trabalho e principalmente pelo companheirismo, dedicação e por trazer mais amor ao meu dia.

- A minha família, principalmente a minha mãe, pelo apoio em todos os momentos e por fazer acreditar que sou capaz de chegar onde eu desejar, a ser uma pessoa digna e humilde e principalmente a alcançar o sucesso.

-E aos amigos, que me trouxeram a diversão e a parceria durante o mestrado: as gurias do "Toque da Lambada" (Deborah, Juliana, Mariana, Lilia, Luciana), Karina, Arthur e Átila.

- Por fim, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível superior – CAPES, agradeço a bolsa concedida.

Sem vocês, nada teria se concluído!

Sumário

LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABELAS	VII
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERENCIAS.....	3
OBJETIVOS.....	5
Objetivo geral	5
Objetivos específicos	5
CAPÍTULO 1 - INFLUÊNCIA DA HIDROLOGIA NO NÍVEL DA LAGOA DOS PATOS	6
RESUMO	6
ABSTRACT.....	6
1. INTRODUÇÃO	7
2. METODOLOGIA	8
2.1 <i>Área de estudo</i>	8
2.2 <i>Métodos de análise</i>	10
3. RESULTADOS/DISSCUSSÕES.....	11
4. CONCLUSÕES	19
5. REFERENCIAS.....	20
CAPÍTULO 2 - A LAGOA DOS PATOS COMO RECARGA DOS AQUÍFEROS COSTEIROS	22
RESUMO	22
1. INTRODUÇÃO	23
2. METODOLOGIA	24
2.1 <i>Área de estudo</i>	24
2.2 <i>Métodos de análise</i>	25
3. RESULTADO E DISCUSSÕES.....	29
3.1 <i>Intrusão salina no aquífero costeiro</i>	41
4. CONCLUSÃO.....	45
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
CAPITULO 3 - CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA NO SISTEMA DEPOSICIONAL DO RIO GRANDE DO SUL.....	48
RESUMO	48
ABSTRACT.....	48

1. INTRODUÇÃO	49
2. METODOLOGIA	50
2.1 Área de estudo	50
2.2 Métodos de análise.....	50
3. RESULTADO E DISCUSSÕES.....	54
4. CONCLUSÃO.....	58
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
CONCLUSÃO GERAL	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxos de água subterrânea em regiões costeiras. Adaptado de Machado (2006)	1
Figura 2 – Mapa de localização da Lagoa dos Patos com a designação das três células e da região estuarina. Os quadrados se referem a localização das estações hidrométricas utilizadas.	9
Figura 3 - Fluxograma com as variáveis em estufo e a sua fonte de aquisição	10
Figura 4 - Nível ao longo da Lagoa dos Patos nas estações de Ipanema (A), Arambaré (B), São Lourenço do Sul (C) e Laranjal (D). Durante o período de 2007 a 2013. Coeficiente de correlação entre os 4 níveis em torno de 0,81.	12
Figura 5 - Diferença de nível da célula de Arambaré em relação ao nível de São Lourenço (A) e Laranjal (B) e a descarga fluvial do rio Jacuí (C)	14
Figura 6 – (A) Cenário de baixa descarga do rio Jacuí associado a vento do quadrante S (B) Cenário de baixa descarga do rio Jacuí associado a N (C) Cenário de Alta descarga do rio Jacuí associado a vento do quadrante N e (D) Cenário de alta descarga do rio Jacuí associado a vento do quadrante N.	16
Figura 7 - Diferença de nível entre a célula norte e célula sul nas diferentes direções e intensidade	17
Figura 8 -Variação do nível de água da LP (porção estuarina) e o nível de água do canal São Gonçalo para os anos de 2007 a 2008.	18
Figura 9 - Nível do mar a partir do sensor instalado nos molhes de Rio Grande e da Lagoa dos Patos na estação do Laranjal.	18
Figura 10 - Área de estudo mostrando a localização dos poços (bolinhas) e a localização das estações meteorológicas utilizadas (Quadrados).	25
Figura 11 - Nível da água subterrânea no poço 9, nas profundidades de 11, 15 e 27 metros	30
Figura 12 – Nível da água da LP (A) Nível da água subterrânea na célula central para os poços 4 (B) e 6 (D) nas profundidades de 10 e 15 metros e poço 5 (C) na profundidade de 10 metros	31
Figura 13 - Nível da água subterrânea nos poços da célula norte (poço 2 e poço 3 de 15 metros) para o período de 03/11/2006 a 18/10/2009.	32
Figura 14 - (A) Nível da água subterrânea do poço 7 e Nível da água da LP na estação do Laranjal (B) Nível da água subterrânea no poço 4 e nível da água da LP na estação de Arambaré	33
Figura 15 - Correlação cruzada entre o nível de água do poço 4 e a LP (A) e do poço 7 (B) com a LP	34
Figura 16 - Efeito do vento NE no nível da água no poço 7. Os círculos correspondem os períodos de vento nordeste de alta intensidade e a elevação do nível da água subterrânea	35
Figura 17 - Nível da água subterrânea no poço 2 e o nível da LP.	36
Figura 18 - Cenários com períodos chuvosos, secos, LP cheia, LP vazia, e suas respectivas correlações com o poço. Poço 4 (A), Poço 5 (B), Poço 6 (C), Poço 7(D)	37
Figura 19 - Nível da água subterrânea no poço 3 (A) e no poço (9) x o nível de água da LP	38
Figura 20 – Análise de variância do nível da água subterrânea no poço 9 conforme as diferentes direções do vento.	39
Figura 21 - Variação do nível da água subterrânea no poço 9 associado a entrada de vento do quadrante sul de alta intensidade	40
Figura 22 - Nível da água subterrânea no poço 3 e variação do nível do mar.	41

Figura 23 - Localização dos poços piezométricos realizados - EMA e Riacho _____	42
Figura 24 - Perfil de salinidade obtido do monitoramento da salinidade quando ocorrência de frente _____	43
Figura 25 - Poço piezométrico realizado em frente a EMA no monitoramento de Junho-2015 _____	44
Figura 26 - Sensor HOBO utilizado para medir a pressão da coluna da água e a interface do software HOBOWare utilizado para processar os dados _____	51
Figura 27- Representação de um poço permanente. Fonte: Fetter, 2001 _____	51
Figura 28 - Variações dos valores de condutividades hidráulicas de acordo com a litologia em vermelho o valor encontrado no presente estudo. FONTE: Freeze e Cherry (1979) ___	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Poços em estudo e seus respectivos períodos de dados e o n amostral. _____	26
Tabela 2 - Variáveis utilizadas na análise do nível de água subterrânea sua fonte de aquisição, localização da estação e a célula correspondente a comparação dos dados. _____	27
Tabela 3 - Transformação para graus das direções dos ventos fornecidos pela praticagem de Rio Grande. _____	28
Tabela 4 - Valores de salinidade dos poços, conforme a profundidade, a partir de uma média da série temporal de dados de 2003 até 2012. _____	29
Tabela 5 – Resultado das correlações realizadas entre os poços em estudo para o período entre 04/11/2006 a 17/02/2009 com intervalo de dados em 08/07-11/07 _____	30
Tabela 6 - Valores de precipitação pluviométrica associados com a média do nível dos poços, que apresentaram diferença entre períodos chuvosos e secos. _____	36
Tabela 7 - Variação da direção do vento durante o monitoramento da salinidade da Figura 26 _____	43
Tabela 8 - Valores obtidos de t37 (segundos) para os poços _____	52
Tabela 9 -Valores de profundidade dos poços _____	53
Tabela 10 - Altimetria dos poços em estudo. FONTE: Obtido pelo Prof. Glauber Acunha Gonçalves (Centro de ciências computacionais - FURG) _____	54
Tabela 11 - Valores de condutividade hidráulica encontrado para os poços situados na barreira arenosa _____	54
Tabela 12 - Valores de fluxo obtidos através do cálculo da Lei de Darcy sem consideração do valor da área. _____	58

INTRODUÇÃO GERAL

O ciclo hidrológico é um sistema fechado com armazenamento de água na superfície do terreno, em rios e lagos, nos oceanos, na atmosfera e no subsolo (Caicedo, 2007). Este ciclo evidencia o movimento da água em diferentes compartimentos como atmosfera, corpos hídricos superficiais, geleiras e aquíferos subterrâneos. A partir deste movimento tem-se a formação de fluxos de água superficiais e subterrâneas que são importantes no transporte e dispersão de elementos ao longo da coluna d'água. Embora não seja tão evidente quanto a descarga superficial, os fluxos de elementos para o oceano também ocorrem através de águas subterrâneas (Moore, 1999).

Devido aos importantes artigos da década 1990, especialmente Moore (1996 e 1999), foi despertada a atenção para trabalhos científicos sobre “Descarga de água subterrânea”, esse assunto se expandiu rapidamente (Burnett, 1999), sendo enfoque de pesquisa em diversas regiões do mundo. A Figura 1 exemplifica o fluxo de água subterrânea que ocorre em regiões costeiras.

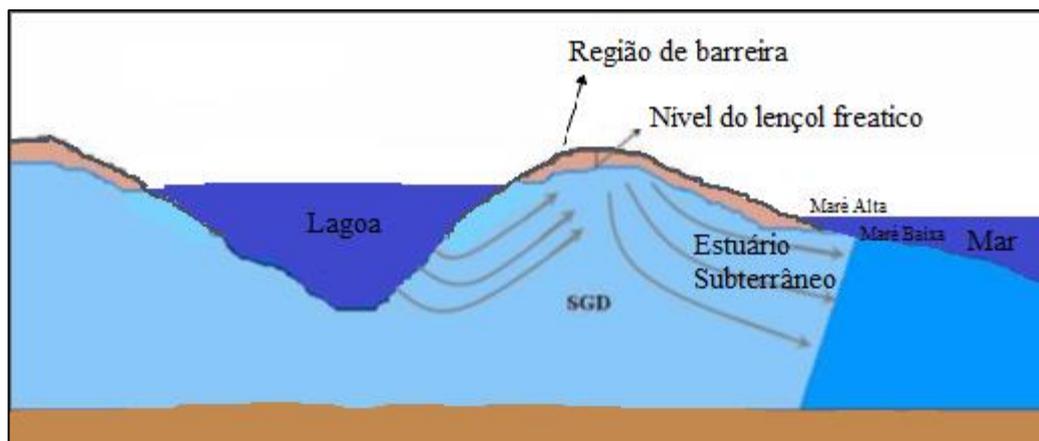


Figura 1 - Fluxos de água subterrânea em regiões costeiras. Adaptado de Machado (2006)

Esse fenômeno é frequente, especialmente quando um aquífero conecta-se com as águas superficiais através de sedimentos permeáveis (Moore, 1999; Burnett & Dulaiova, 2003), como é o caso da planície costeira do Rio Grande do Sul (RS). A planície do RS no seu estágio mais recente é constituída essencialmente por areia, que progrediu a partir do pico transgressivo do holocênico, há cerca de 5 mil anos, formando cordões litorâneos regressivos, cujas características podem ser observadas desde o norte da cidade de Tramandaí até o sul da cidade de Rio Grande (Villwock & Tomazelli, 1995)

As lagoas e banhados que existem na planície do RS, constituem-se em depressões que não foram totalmente preenchidas por sedimentos durante o período inicial da constituição desse sistema (Cunha, 1997). O sistema de lagoa mais importante nessa região é o da Lagoa dos Patos (LP) (Villwock & Tomazelli, 2007) e a caracterização hídrica da região pode ser obtida a partir do conhecimento do comportamento do rio Guaíba, e do rio Camaquã (Niencheski & Windom, 1994). E na porção final da LP tem-se a descarga provinda da Lagoa Mirim, Arroio Pelotas e Piratini através do canal São Gonçalo (Friedrich, 2004).

Os fenômenos atmosféricos da região lagunar da planície costeira do RS influenciam decisivamente o seu sistema hidrológico, entre os efeitos mais significativos podemos citar o efeito do vento, devido a sua amplitude, e também pela orientação do eixo longitudinal da lagoa (nordeste-sudoeste), que é alinhada com a direção predominante dos ventos da região (Vaz, et al., 2006). Como também os fenômenos hidrológicos que são essenciais para melhor entendimento da sua hidrodinâmica (Hartamman & Schettini, 1991).

Pelas características hidrológicas e geológicas desta região sugere-se que a Lagoa dos Patos é a principal fonte responsável pela recarga permanente dos aquíferos costeiros situados na barreira arenosa que à separa do Oceano Atlântico (Machado, *et al.*, 2006). Visando avaliar a dinâmica da conexão das águas superficiais da LP com o sistema de aquífero da região, o Capítulo 1 deste trabalho, mostra diferentes cenários hidrológicos da LP, identificando os principais agentes ambientais responsáveis pelas alterações do seu nível de água. Por conseguinte, o Capítulo 2 mostra a influência da LP nos aquíferos costeiros, juntamente com os principais dados meteorológicos da região.

Em aquíferos costeiros não pode ser considerada somente a descarga de água subterrânea para o mar. Deve ser considerada também a entrada de água salina no sistema. Dois fatores são chaves para controlar esses processos: o gradiente hidráulico da região (diferença de carga entre dois pontos) e a condutividade hidráulica do sistema (Austin *et al.*, 2013). A condutividade hidráulica é a medida da habilidade do aquífero em conduzir água sobre influência do gradiente hidráulico de uma superfície potenciométrica. Quanto maior a condutividade hidráulica mais o aquífero tem a capacidade de conduzir água (Clearly, 1989).

Com os valores de condutividade hidráulica e do gradiente hidráulico formula-se a Lei de Darcy em sua forma mais simples, o qual significa o cálculo do fluxo de água em um meio poroso (Todd, 1959). Este modelo ainda é pouco utilizado e sua principal vantagem é o seu baixo custo, visto que dados simples podem ser aplicados

para obtenção das estimativas do fluxo subterrâneo (Andrade, *et al.*, 2008; Austin, *et al.*, 2013).

O fluxo subterrâneo da região em estudo foi calculado primeiramente por Windom & Niencheski (2003), o qual utilizaram dados estimados de condutividade hidráulica (10 m.dia^{-1}) com base no sedimento da região do Estreito (porção sul da barreira, Figura 2) e estimaram um fluxo de $6,25 \cdot 10^7 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ para toda extensão da barreira. Em Niencheski, *et al.* (2007) o fluxo de água doce foi novamente calculado, porém utilizando dados de radioisótopos, da região norte da barreira, e obtendo-se o valor de $3,1 \cdot 10^7 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ estimado para toda extensão da barreira. Assim, o Capítulo 3 deste trabalho traz dados inéditos de condutividade hidráulica medidos ao longo da barreira arenosa e também a estimação de fluxos subterrâneos a partir da aplicação da Lei de Darcy.

REFERENCIAS

ANDRADE, C.F.F.; MILANI, I.C.B.; ATTISANO, K.K.NIENCHESKI, L.F.H.; SANTOS, I.R.; MILANI, M.R.; PETERSON, R.; BURNETT, W.; PEREIRA, L.C. Aplicação da Lei de Darcy para estimativa da advecção de água subterrânea. **Anais...** IV Simpósio Brasileiro de Oceanografia, São Paulo, 2008.

AUSTIN, M.J.; MASSELINK, G., MACCALL, R. T.; POATE, T.G. Groundwater dynamics in coastal barriers backed by freshwater lagoon and potential for saline intrusion: Two cases from the UK. **Marine System**. v.123-134, p. 19-32, 2013.

BURNETT, W. Offshore springs and seeps are focus of working group. **EOS: Trans. Am. Geophys.** Union 80: 13–15, 1999.

BURNETT, W.C., & DULAIIOVA, H. Estimating the dynamics of groundwater input into the coastal zone via continuous radon-222 measurements. *Journal of Environmental Radioactivity*, 69(1-2): 21-35, 2003.

CAICEDO, N.L. Água subterrânea. **Hidrologia**. Tucci C. E.M. (Org) 2 ed. ABRH. Porto Alegre, 2007.

CLEARLY, R.W. **Águas subterrânea**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, 1989.

CUNHA, N. G. da. **Caracterização dos solos de São José do Norte, Tavares e Mostardas - RS**. EMBRAPA/CPACT (Documentos CPACT; 7/94) 2ª ed. Ed. UFPel, Pelotas, RS, 1997. 47 p.

HARTAMANN, C.; SCHETINI, C.A.F. Aspectos hidrológicos na desembocadura da Laguna dos Patos. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 21(4), p. 371-377, 1991

MACHADO, C.S.; NIENCHESKI, L.F.H.; ATISSANO, K. A Lagoa dos Patos como recarga de um aquífero freático costeiro. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Oceanografia, São Paulo, 2006.

MOORE, W.S., 1999. The subterranean estuary: a reaction zone of groundwater and seawater. **Marine Chemistry**, 65: 111-126.

NIENCHESKI, L. F. H., H. L. WINDOM, W. S. MOORE; JANHNKE, R.A. Submarine groundwater discharge of nutrients to the ocean along a coastal lagoon barrier, Southern Brazil. **Marine Chemistry**. V.106, p. 546-561, 2007.

TODD, D.K. **Hidrologia de águas subterrâneas**. Trad. sob direção de Araken Silveira e Evelyn Bloem Souto Silveira. São Paulo, EDGARD. 319p, 1959.

VAZ, A.C.; MÖLLER JR, O.O.; ALMEIDA, T.L. Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. **Atlântica**. V.28(1), p. 13-23, Rio Grande, 2006.

VILLWOCK, J.A & TOMAZELLI, L.J. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, 8: 1-45. 1995.

VILLWOCK, J.A & TOMAZELLI, L.J. Planície Costeira do Rio Grande do Sul: gênese e paisagem atual. In: Becker, F.F.; Ramos, R. A. MOURA, L. A. (Org.). **Biodiversidade. Regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiazais de Tapes, planície costeira do Rio Grande do Sul**. 1ªEd. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/SBF, 2007.

WINDOM, H.; NIENCHESKI, F. Biogeochemical processes in a freshwater-seawater mixing zone in permeable sediments along the coast of Southern Brazil. **Marine Chemistry**. v. 83, p. 121-130, 2003.

OBJETIVOS

Objetivo geral

- Estudar o nível das águas superficiais da Lagoa dos Patos como forçante de alteração do nível de água interna dos poços situados no cordão arenoso que à separa do Oceano Atlântico, perante a diferentes cenários climatológicos.

Objetivos específicos

- Compreender a influência dos rios Guaíba (representado pelo rio Jacuí), Camaquã e do Canal São Gonçalo nos níveis da Lagoa dos Patos.
- Verificar as forçantes ambientais que exercem influência no nível da Lagoa dos Patos e, por consequência, no aquífero superficial, como a ação do vento e da precipitação
- Avaliar se os aquíferos em diferentes profundidades (10 e 15 metros) se comportam da mesma maneira em relação a variação do nível de água subterrânea.
- Verificar se existe relação entre à variação nos níveis dos aquíferos situados nas diferentes barreiras geológicas.
- Verificar se a entrada de ventos de alta intensidade causa a variação da salinidade no estuário subterrâneo superficial.
- Determinar a Condutividade Hidráulica nas diferentes barreiras do sistema deposicional.

CAPÍTULO 1 - INFLUÊNCIA DA HIDROLOGIA NO NÍVEL DA LAGOA DOS PATOS

RESUMO

O primeiro capítulo tem como objetivo avaliar o nível de água nas quatro principais células da Lagoa dos Patos (LP), a partir de uma série temporal de 2007 a 2013 e identificar os padrões e fatores que interferem no aumento ou na diminuição do seu nível. Os dados de nível de água da LP foram obtidos a partir de quatro estações hidrométricas situadas na LP. As quatro estações apresentaram comportamento semelhante com coeficiente de correlação de 0,81. A descarga fluvial do rio Guaíba representada neste trabalho pelos dados obtidos do rio Jacuí ($1.335 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) é a variável de maior contribuição no aumento do nível da LP, principalmente na célula norte. Nessa célula observa-se ainda o relevante efeito do vento, na variação do nível da LP. Períodos de vento sudoeste foram associados aos maiores níveis, enquanto em situações de vento, de alta intensidade, do quadrante norte o nível diminui. O efeito da descarga fluvial do rio Jacuí é observado também nas demais células. Entretanto, além da influência da descarga provinda da célula norte na porção estuarina, observa-se também a contribuição da Lagoa Mirim, através do Canal São Gonçalo e da entrada de água marinha. Os coeficientes de correlação entre os dados da estação do Laranjal com o canal São Gonçalo e com o nível do mar foram 0,85 e 0,59 respectivamente. Essa contribuição faz com que o nível da região estuarina seja superior ao nível das células central e sul na maior parte do tempo.

PALAVRAS-CHAVES: Nível de água. Rio Jacuí. Gradiente Hidráulico.

ABSTRACT

The objective of this chapter is to analyze the water level in the four main cells of the Patos Lagoon (PL), with a temporal data series, from 2007 to 2013, and to identify the patterns and factors that interfere on the increase or decrease of its levels. The data were obtained from four hydrometric stations located in th PL. The four stations showed similar values with a correlation coefficient of 0,85. The fluvial discharge of Guaíba river represented in this study by the data obtained from the Jacuí river ($1.335 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), is the variable with the highest contribution for increase the levels of the PL, especially in the northern cell. In this cell the wind effect is relevant for the level variation. Periods of southwestern wind action were associated with higher levels, while northern wind with lower level. The influence of the Jacuí river is observed in the central, southern and estuarine cells. However, in addition to the influence of the discharge from the northern cell, on the estuarine portion, the contribution of the Mirim lagoon, throught the São Gonçalo canal, is also observed. The correlation coefficient of correlation between the data from the Laranjal station and the São Gonçalo canal was 0,85. Sea water input also cause interference on the water level in this region. The influence of the winds, both from N and S quadrants in this region renders the level of this cell (0,63 m) higher than the central and southern cells, most of the time.

KEYWORDS: Water level. Jacuí river. Hydraulic gradiente.

1. INTRODUÇÃO

No litoral brasileiro são encontrados corpos d'água dos mais variados tamanhos, desde pequenas até grandes lagoas, como o caso da Lagoa dos Patos (LP), que é considerada uma das maiores lagoas costeiras do mundo. A Lagoa dos Patos pertence à bacia hidrográfica do Atlântico Sudeste e recebe o aporte de água doce dos principais rios do Rio Grande do Sul, representando um escoadouro natural da bacia hidrográfica para o Oceano Atlântico e também há a entrada de água salgada do mar para o seu interior, formando uma área estuarina em sua porção final (Seeliger & Odebrecht, 2010).

Delaney (1965) dividiu geomorfologicamente a Lagoa dos Patos em 3 regiões: região estuarina (desembocadura até a ponta da Feitoria), região central (Ponta da Feitoria até a entrada da Lagoa do Casamento) e a região superior (formada pela lagoa do Casamento e pela área do rio Guaíba) (Figura 2). Sendo a célula norte a que recebe o principal tributário o Rio Guaíba e que está a um nível mais alto em relação ao nível do mar. A célula central e sul recebe as águas do Rio Camaquã e a porção estuarina, recebe as águas do Canal São Gonçalo. Juntos apresentam uma bacia hidrográfica de aproximadamente 200.000 km², tendo como única ligação com o oceano o Canal do Rio Grande (Hartmann & Schettini, 1991). A contribuição média mensal dos diversos rios deste sistema é da ordem de 2.400 m³/s com fortes variações sazonais. A descarga dos rios desenvolve correntes que se projetam para o interior da lagoa e em ocasião de enchentes o seu efeito oscila os níveis de água LP por longos trechos. Da mesma forma, o regime dos ventos também é responsável por grandes oscilações (Dillenburg, *et al.*, 2000).

A Lagoa dos Patos além da contribuição superficial também fornece uma fonte de água doce subterrânea à costa, através dos 240 km de barreira arenosa que a separa do Oceano Atlântico. Análises dos níveis de água em poços subterrâneos realizadas na barreira arenosa revelaram uma forte correlação com os dados de nível da LP (Niencheski, *et al.*, 2007; Machado, *et al.*, 2006).

Devido à importância cada vez mais atribuída a presença de água subterrânea na região oceânica do RS nos processos oceanográficos (Niencheski & Windom, 2014), neste trabalho verifica-se, através da análise de uma série histórica de dados (2007 a 2013), o papel do nível da LP na formação do gradiente hidráulico, que faz com que as águas da LP também se conectem ao Oceano Atlântico via barreira arenosa permeável.

2. METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A Lagoa dos Patos (Figura 2) possui 10.000 km² de área, com 250 km de extensão e 40 km de largura. Para facilitar a análise de dados, no presente estudo a LP será dividida em 4 regiões: Norte, Central, Sul e uma região estuarina, as subdivisões são mostradas na Figura 2.

A LP é responsável pela drenagem da metade da área do estado (200.000 km²) e divide-se em dois grandes complexos. O maior destes é o Complexo Patos, formado pelos rios Vacacaí, Taquari, Caí, Sinos e Gravataí, Jacuí e Camaquã, possuindo uma área de drenagem de 150.432 km². O outro é o Complexo Mirim, formado pelos rios Jaguarão, Cebolati, Pelotas e pelos arroios Sarandi Grande, Santa Vitória, Rio Grande, formando uma área de drenagem de 51.194 km², o qual se conecta com a Lagoa dos Patos através do Canal do São Gonçalo. (Vieira, 1983).

A média de vazão anual dos tributários que deságuam no Rio Guaíba mais o Rio Camaquã resulta em 1770 m³.s⁻¹ somando a descarga média do São Gonçalo que é em torno de 700 m³.s⁻¹ tem-se uma descarga de água doce na LP de 2400 m³.s⁻¹ (Vaz, *et al.*, 2006). A oceanografia física da Lagoa dos Patos é bem caracterizada, com altas descargas ocorrendo no inverno (junho-agosto), quando o efeito da salinidade não é sentido no interior da LP (Möller *et al.*, 1996).

A dinâmica da LP é claramente dominada pela ação do vento. As trocas de água entre a lagoa e o oceano adjacente são dirigidas por gradientes de pressão, resultantes da combinação de efeito de forças locais e não locais com vento sudoeste e nordeste direcionando fluxos para lagoa e para o oceano respectivamente (Vaz *et al.*, 2006). O clima da região é temperado úmido com altas temperaturas no verão e baixas no inverno. A soma da precipitação anual varia de 1000 mm a 1500 mm distribuídas durante todo o ano (Dillenburg, 2000).

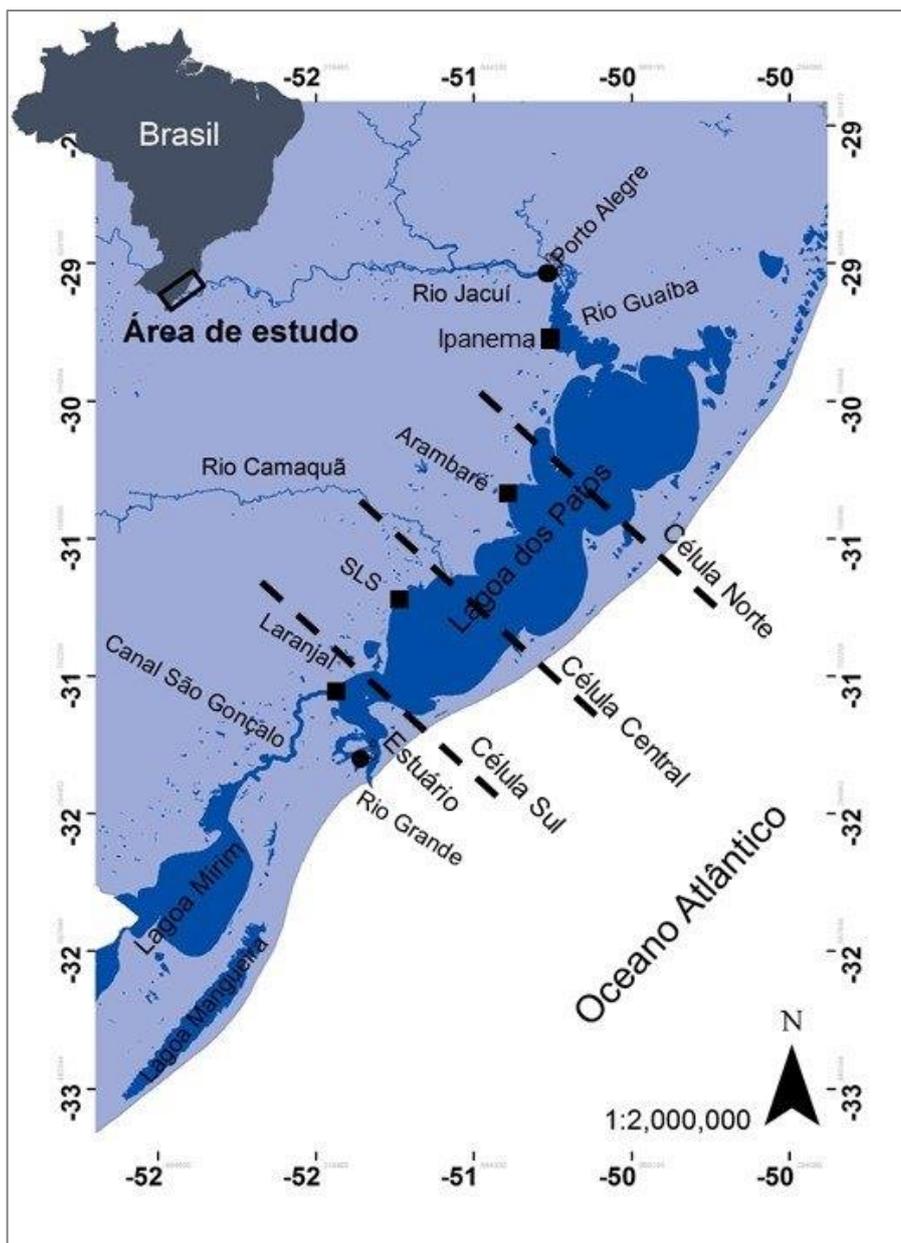


Figura 2 – Mapa de localização da Lagoa dos Patos com a designação das três células e da região estuarina. Os quadrados se referem a localização das estações hidrométricas utilizadas.

Em função de sua dimensão, sobretudo no seu eixo Norte - Sul, a Lagoa dos Patos possui várias estações hidrométricas, sob tutela da ANA. Essas estações estão distribuídas de forma a indicarem o nível, principalmente nas três células da LP (norte, central e sul) e na região estuarina (Figura 2). Neste trabalho atribuímos para representar a célula norte a estação hidrométrica de Ipanema. Apesar de se encontrar no interior do Rio Guaíba, próximo a Porto Alegre, portanto não representando o nível na Lagoa dos Patos, esta estação foi utilizada por ser a mais próxima da célula norte, tendo em vista que a estação de Itapoa, foi desativada em 1986. A célula central é representada pela estação hidrométrica de Arambaré, a estação hidrométrica de São

Lourenço do Sul (SLS) representa a célula sul, enquanto a porção estuarina do sistema é representada pela estação situada na praia do Laranjal, em Pelotas.

2.2 Métodos de análise

Neste capítulo serão feitas análises estatísticas afim de explicar as oscilações do nível de água da Lagoa dos Patos (LP). A Figura 3 mostra o fluxograma das variáveis utilizadas neste trabalho. As variáveis: precipitação pluviométrica, descarga fluvial e ventos são consideradas as forçantes, que ocasionam o aumento ou a diminuição do nível da LP (variável resposta). Na Figura 3 também é mostrada a fonte de aquisição de cada variável.

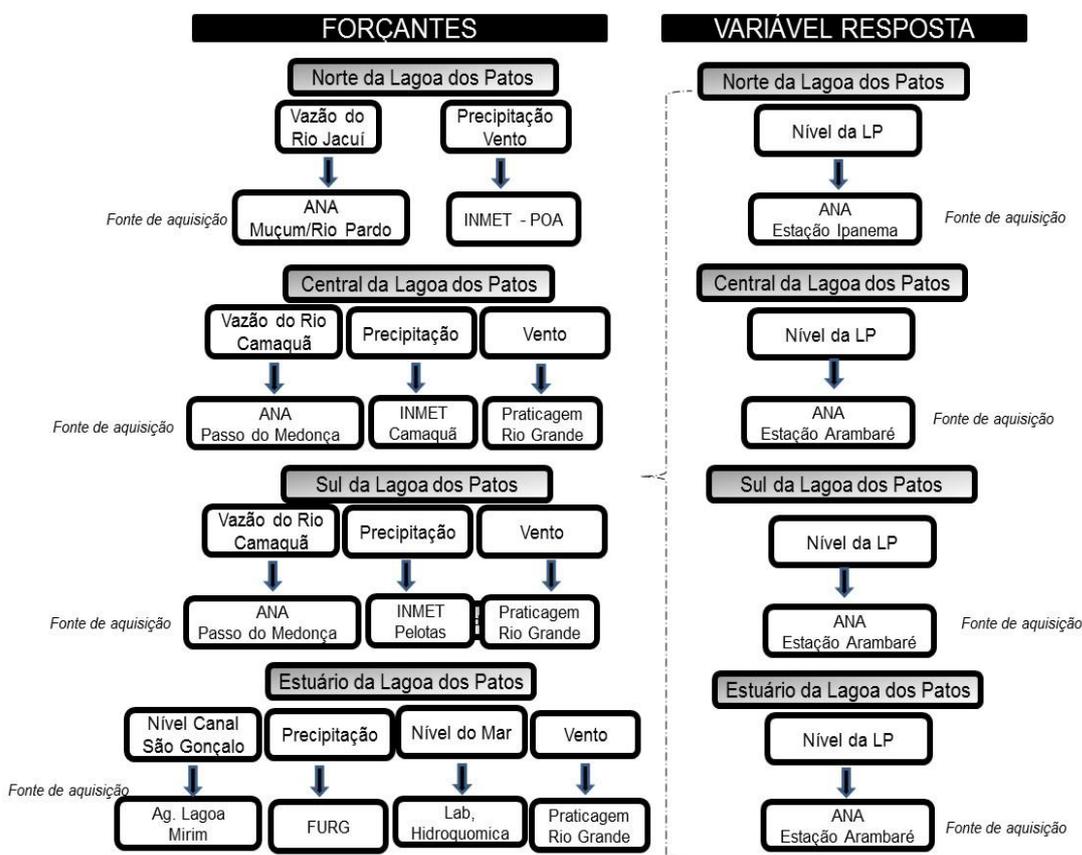


Figura 3 - Fluxograma com as variáveis em estudo e a sua fonte de aquisição

Os dados de nível da LP e da descarga fluvial dos rios adquiridos junto a ANA são disponibilizados através do Hidroweb (<http://hidroweb.ana.gov.br/>). Os dados de precipitação pluviométrica e ventos referentes ao INMET foram adquiridos através de Banco nacional de dados meteorológicos (<http://www.inmet.gov.br/>). Os dados de nível

do mar provindos do Laboratório de Hidroquímica foram adquiridos a partir de um sensor de pressão hidrostática da marca HOBO (<http://www.sigmasensors.com.br/>). A partir do software HOBOWARE os dados de níveis em pressão foram convertidos para níveis em metros e posteriormente para um dado médio de nível diário. O período dos dados é de jun-09 a dez-09 e ago-10 a mar-11. Estes dados estão disponibilizados em:

https://drive.google.com/folderview?id=0B6h0cL3TyQB_emdEaEJnMDhtb0U&usp=sharing.

Devido ao grande número de dados, utilizou-se o coeficiente de correlação de *Pearson*, para determinar se existe uma correlação linear entre as variáveis. O coeficiente de correlação se situa entre os valores de -1 a 1. Quanto mais próximo o valor for de 1, há evidências para supor que a correlação é significativa a um nível de significância de 95%.

A correlação representa simplesmente a tendência que as variáveis apresentam quanto a sua variação conjunta, não apresentando necessariamente qualquer relação de causa e efeito. Uma das técnicas utilizadas para investigar e modelar a relação entre as variáveis é a regressão, através da existência de uma função que explica em termos médios a variação de uma das variáveis em função da outra. Depois da estimativa dos coeficientes da equação é necessário verificar a parcela de variabilidade que foi explicada pela reta de regressão. A regressão múltipla foi utilizada para descrever a variável resposta (dependente), no presente caso o nível da LP, através do conjunto de variáveis explicativas independentes, no caso precipitação, vazão e vento. Sua aplicação permite que se obtenha o valor de uma variável com base num conjunto de outras variáveis. Quanto maior o peso de uma variável maior representatividade ela tem sobre a variável dependente (Naghetini & Pinto, 2007).

3. RESULTADOS/DISCUSSÕES

Entre as quatro estações hidrométricas utilizadas neste trabalho a única estação que apresenta seu nível de referência (RN) definitivamente amarrado ao nível do mar é a de Ipanema, sendo seu RN de 3110 mm (CPRM, 1985). Entretanto os dados fornecidos pela ANA de valores de RN de Arambaré (2224 mm) e SLS (1363 mm) apresentam certa coerência em relação ao nível do mar. Pois se considerarmos o sistema em estado estável e assumirmos que em Rio Grande o nível do mar é zero, pela distância das estações em relação a estação de Ipanema, os valores não são tão

discrepantes. Sendo assim, podemos dizer que Arambaré e SLS estão a 2,2 e 1,4m acima do nível do oceano respectivamente.

Porém, nos tratamentos a seguir será considerada a variação de nível arbitrária em cada estação, pois o objetivo é avaliar o efeito das forçantes sobre esse nível. De qualquer forma para valores absolutos de nível seria necessário apenas a soma do valor de cada RN.

O nível de água de cada estação ao longo de uma série temporal (de 2007 a 2013) está apresentado na Figura 4. Avaliando os níveis das quatro diferentes estações, observa-se apresentam uma boa correlação entre si ($r \approx 0,81$), indicando um comportamento semelhante nas diferentes porções da LP.

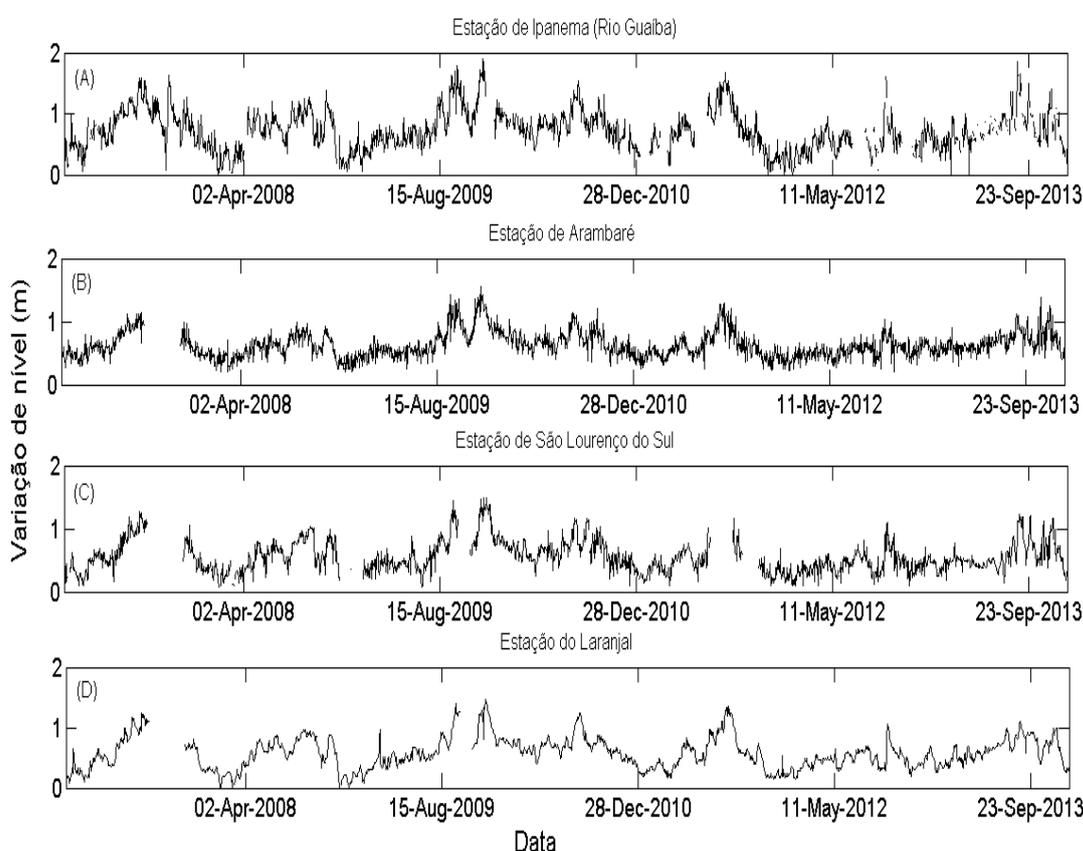


Figura 4 - Nível ao longo da Lagoa dos Patos nas estações de Ipanema (A), Arambaré (B), São Lourenço do Sul (C) e Laranjal (D). Durante o período de 2007 a 2013. Coeficiente de correlação entre os 4 níveis em torno de 0,81.

A média do nível para as células norte, central, sul e estuarina foram 0,73; 0,58; 0,55 e 0,63 m respectivamente (Figura 4), com oscilações que variaram de 0,1 a 2,0 m. Na maior parte do tempo ($\approx 81\%$) a célula norte apresentou níveis superiores aos das células central e sul, em média 0,20 m acima, atingindo valores de 0,96 m acima. Em comparação com a porção estuarina da LP, a célula norte também foi superior na maior parte do tempo (66%), com diferenças superiores a 1 m entre ambas as estações.

Entretanto, a porção estuarina da LP se apresentou superior na maior parte do tempo (67%) quando comparada com as estações de Arambaré e São Lourenço do sul (Figura 5).

Entre os fatores responsáveis por estas oscilações estão a descarga fluvial dos tributários, a precipitação pluviométrica e os ventos (variáveis abordadas nesse trabalho). Em relação aos tributários de maior representatividade no aumento do nível da LP na célula norte, observa-se o rio Jacuí, através do complexo Guaíba (Niencheski & Windom, 1994). O rio Camaquã por sua vez, apresenta-se como tributário, de maior destaque nas células central e sul. Na região estuarina, próximo à estação do Laranjal ocorre a conexão da Lagoa Mirim com a LP através do canal São Gonçalo. Todavia, dada a proximidade desta conexão com a desembocadura da LP para o oceano, pressupõe-se que a contribuição deste sistema não é significativa para o seu nível.

Como primeira abordagem obtém-se as equações resultantes da análise de regressão múltipla para cada célula da LP. A análise de regressão múltipla leva em consideração as variáveis descarga fluvial, precipitação pluviométrica e ventos. Para a célula norte, central, sul e estuário obtém-se as equações 1, 2, 3 e 4 respectivamente:

$$\text{Nível da LP (Ipanema)} = 0,74 + \mathbf{0,65} * \text{Vazão do rio Jacuí} + 0,05 * \text{precipitação} \quad (1)$$

$$\text{Nível da LP (Arambaré)} = 0,25 + \mathbf{0,65} * \text{Vazão do rio Jacuí} - 0,07 * \text{Intensidade do Vento} \quad (2)$$

$$\text{Nível da LP (SLS)} = 0,2133 + \mathbf{0,512} * \text{Vazão do rio Jacuí} + 0,176 * \text{Camaquã} \quad (3)$$

$$\text{Nível LP (Laranjal)} = 0,2584 + \mathbf{0,545} * \text{Vazão do rio Jacuí} + 0,131 * \text{Camaquã} \quad (4)$$

As variáveis independentes (precipitação pluviométrica, descarga fluvial e vento) das equações acima tiveram em torno de 41% de representatividade na variação do nível da LP ($r^2 \approx 0,41$ e $r \approx 0,64$). A variável de maior peso nas três equações foi a descarga fluvial, sobretudo a provinda do rio Jacuí, e em menor representatividade do rio Camaquã. Apesar da precipitação e o vento serem fatores de interferência no nível da LP, estas não apresentaram peso significativo nas

equações. O vento apresentou uma pequena contribuição, ainda que negativa, na equação 2 (célula central), enquanto a precipitação pluviométrica exerce pouca influência na equação 1. Nas demais equações essas variáveis não foram representativas, não apresentando valor de p significativo.

A média de vazão do rio Jacuí para o período em estudo (2007 a 2013) foi de $796 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, variando de $61,6$ a $5.453 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. A bacia na qual o rio Jacuí está inserido, drena uma região de mais de 150.000 km^2 (Vieira, 1988) e a alta descarga está ligada aos diversos tributários menores desta região (e.g. Vacacaí, Caí e Sinos). Assim, a alta contribuição do rio Jacuí fez com que este apresentasse o maior peso na variação do nível da LP (Equações 1, 2, 3 e 4) com coeficiente de correlação em torno de $0,60$ com os dados de nível de água das quatro estações da LP.

Ainda, os períodos de maior descarga do rio Jacuí estão associados aos maiores níveis de água na célula norte em relação às demais células, devido à proximidade da estação com a desembocadura do rio Jacuí. Além disso, a célula central, mesmo não estando localizada próxima a descarga do rio Jacuí, teve também seus maiores níveis associados aos períodos de alta descarga deste rio, quando comparada com a célula sul e com a porção estuarina. A Figura 5 mostra a diferença de nível entre a estação de Arambaré e SLS; Arambaré e Laranjal juntamente com a descarga fluvial do rio Jacuí, os realces mostram a associação das altas descargas com o maior nível na estação de Arambaré.

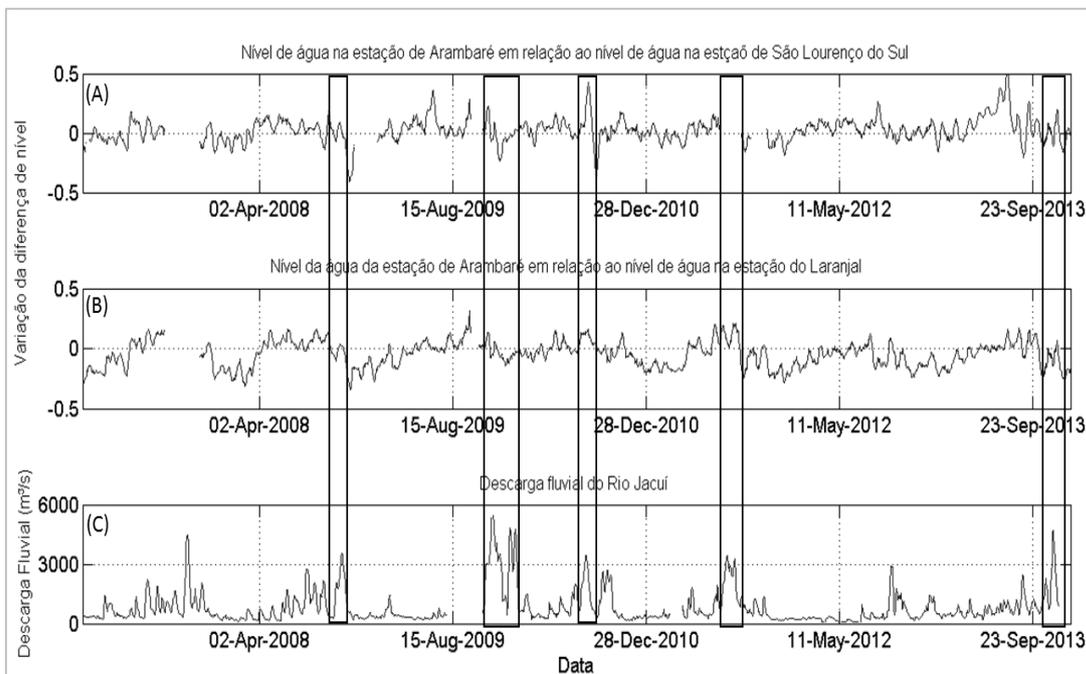


Figura 5 - Diferença de nível da célula de Arambaré em relação ao nível de São Lourenço (A) e Laranjal (B) e a descarga fluvial do rio Jacuí (C)

Dessa forma, temos que a descarga fluvial do rio Jacuí é uma importante variável para explicar a variação de nível da água ao longo da LP. O aumento de nível na célula norte, em relação às demais células, faz com que aumente o gradiente de pressão e acarretando o fluxo de água em direção ao oceano (Möller, *et al.*, 1996), tanto pela desembocadura como através da barreira arenosa que a separa do oceano, cuja relevância será discutida no Capítulo 2.

O rio Camaquã apresenta uma descarga fluvial inferior ao rio Jacuí, com média de $276 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para o mesmo período de estudo. A descarga máxima alcançada pelo rio Camaquã foi de $1.634 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em novembro de 2009 e a mínima de $26 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, em maio e junho de 2012. Mesmo o rio Camaquã estando mais próximo à estação de medição da célula sul (São Lourenço do Sul), a contribuição do rio Jacuí é mais pronunciada (Equação 3), visto que as contribuições dos rios Jacuí e Camaquã são as mais importantes para a LP (Nienckeski & Windom, 1994), representando para a LP, uma descarga média em torno de $1.335 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Devido à baixa representatividade da precipitação pluviométrica em ambas as equações, sugere-se que a precipitação local (adquirida nas estações próxima a LP) não ocasione efeito acentuado nos níveis da LP, do mesmo modo como a precipitação que ocorre na bacia hidrográfica, o qual é drenada através dos tributários para a LP. Essa drenagem, por sua vez, é significativa para o aumento ou diminuição dos níveis de água da lagoa, conforme observado através da boa correlação com os dados de descarga fluvial (coeficiente de correlação em torno de 0,60). Pois os dados de chuva dos pluviômetros e pluviógrafos referem-se às medições executadas em áreas restritas (400 cm^2) e portanto não representam a variabilidade espacial da precipitação para grandes áreas (Todd, 1959).

Trabalhos sobre a hidrodinâmica da LP mostram que o vento é o fator com maior influência no controle da circulação do sistema (Möller Junior, *et al.*, 1996; Fernandes & Nienckeski, 1998). Na equação 2, observa-se que o vento teve representatividade no nível de água da célula central, ainda que negativa. A ausência de vento faz com que a água que entra na LP permaneça nesta região. Nessas situações o efeito de escoamento da água para a região sul é lento, pois é ocasionado apenas pelo efeito do gradiente hidráulico.

Castelão e Möller (2003) mostraram que a ação do vento gera um desnível entre as extremidades da lagoa, que pode atingir 0,08 m em vento com velocidade de 8 nós. A Figura 6 mostra o comportamento do nível nas quatro estações de medição, em 4 diferentes cenários determinados conforme os dados disponíveis: alta e baixa descarga fluvial do rio Jacuí em ventos norte e sul com intensidade acima de 10 nós.

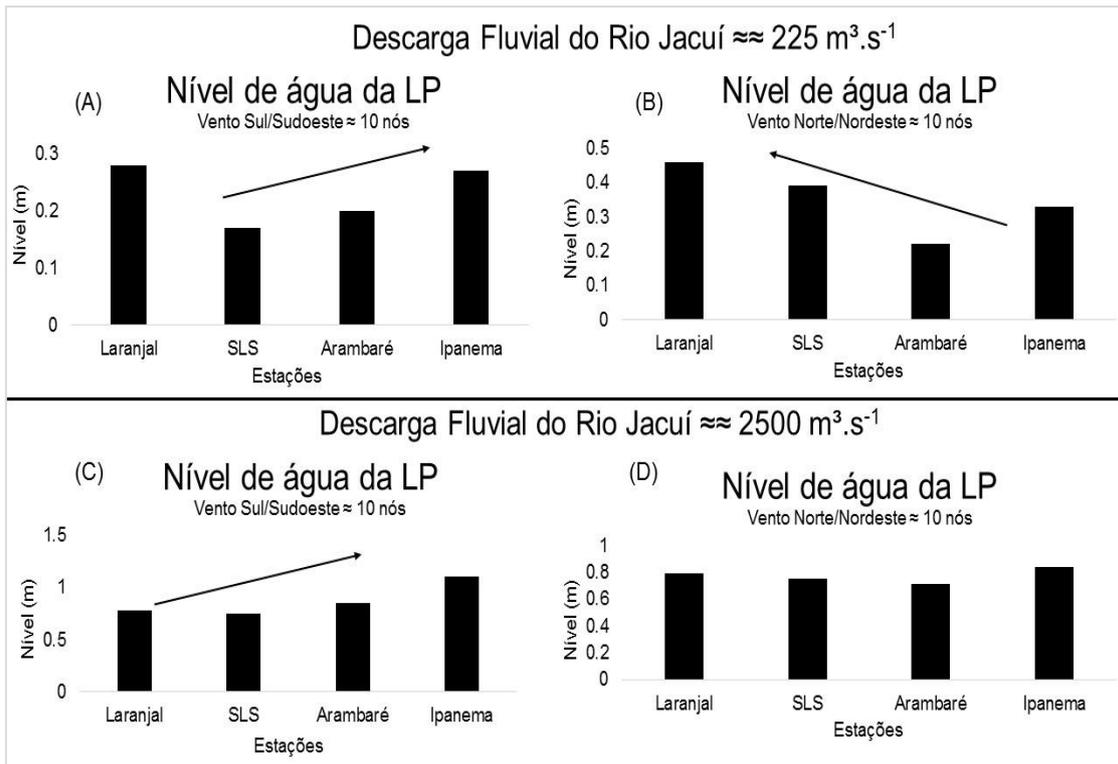


Figura 6 – (A) Cenário de baixa descarga do rio Jacuí associado a vento do quadrante S (B) Cenário de baixa descarga do rio Jacuí associado a N (C) Cenário de Alta descarga do rio Jacuí associado a vento do quadrante N e (D) Cenário de alta descarga do rio Jacuí associado a vento do quadrante N.

Os ventos provindos do quadrante sul à medida que atuam ao longo da lagoa, ocasionam o empilhamento de água na célula norte (Fernandes & Niencheski, 1998), na Figura 6 (A) observamos o maior nível na célula norte quando comparada ao nível da célula sul. Ainda sobre ventos do quadrante S, o nível elevado na estação do Laranjal, principalmente em períodos de baixa descarga do rio Jacuí (Figura 6 (A)), está relacionado com a entrada de água do mar na porção estuarina. Em períodos de vento sudoeste a água do mar tende a empilhar na costa e então favorecendo a entrada de água salgada na LP. A não ocorrência da entrada da água mar no interior da LP, pode ocorrer apenas em períodos em que o fluxo a jusante for superior a $4000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ associados a entrada de vento nordeste. (Hartmann & Schettini, 1991).

Em contrapartida, ventos provindos do quadrante norte favorecem a descarga de água da região norte em direção ao sul da LP, assim ocasionando o menor nível de água na célula norte da LP (Figura 6 (B)). Quando verificado o cenário em que a descarga fluvial é superior a $2.500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ o vento norte/nordeste já não apresenta efeito na oscilação dos níveis. O grande volume da água provindo do Jacuí e a ação do vento direcionando a água para a porção sul fazem com que não exista diferenças nos níveis ao longo da LP (Figura 6 (D)).

A Figura 7 apresenta a diferença do nível da célula norte em relação ao nível da célula sul nas diferentes direções do vento. Observa-se na Figura 7 que a o nível de água na célula norte fica em média 0,4 m acima do nível da célula sul em ventos sudoeste, colaborando com o resultado encontrado na Figura 6. Além disso, embora ventos provindos de NE serem predominantes durante todo o ano nesta região (Tomazelli, 1993), para que haja uma diferença negativa entre os dados das estações de Ipanema em relação a do Laranjal, a intensidade do vento NE deve ser forte. Assim, quando a intensidade dos ventos NE é superior a 10 nós, o nível da célula norte fica inferior ao da célula sul.

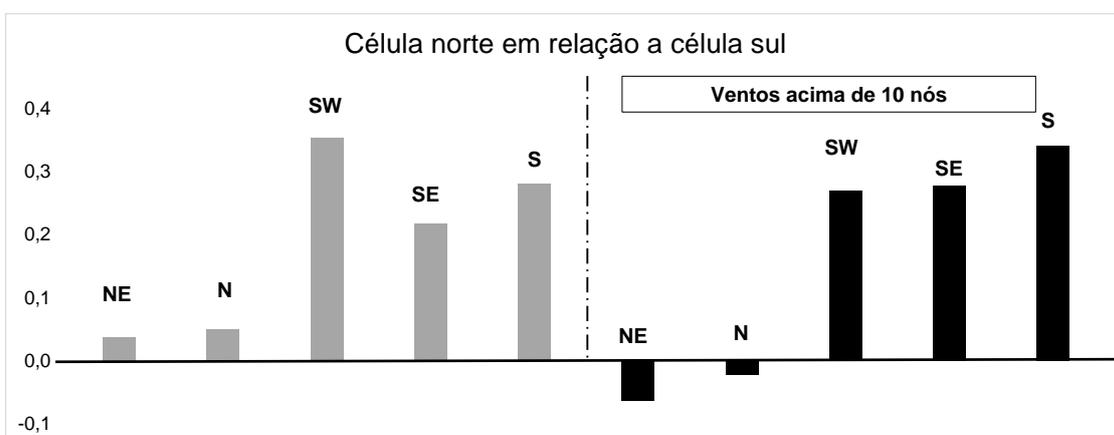


Figura 7 - Diferença de nível entre a célula norte e célula sul nas diferentes direções e intensidade

Desse modo, a região central, sul e estuário recebem a água provinda do norte, a partir do escoamento pelo gradiente hidráulico e pela ação do vento NE. O maior nível no estuário em comparação a célula central e sul pode ser atribuído a contribuição da Lagoa Mirim, através do canal São Gonçalo, o qual se encontra a menos de 3 km da estação do Laranjal. O coeficiente de correlação entre o nível da LP na estação do Laranjal com o nível do canal São Gonçalo foi de 0,85. A Figura 8 mostra a variação dos níveis ao longo do tempo.

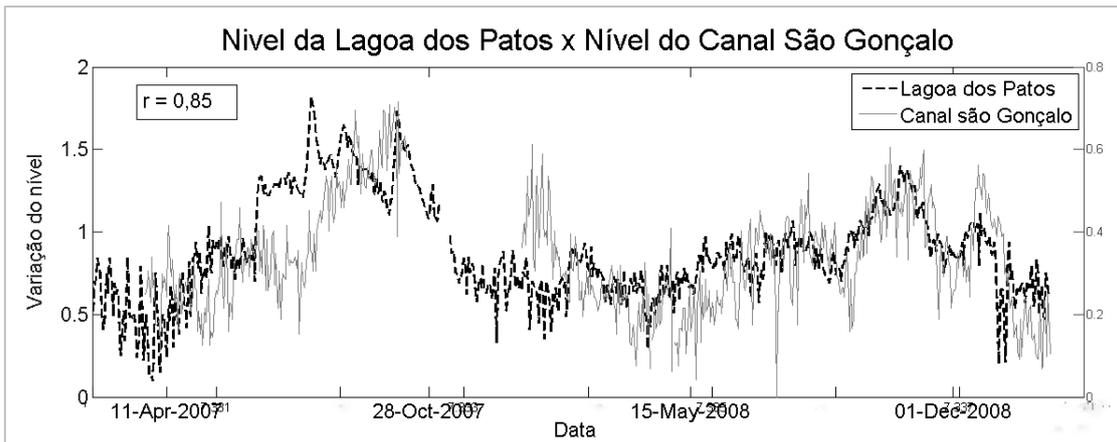


Figura 8 -Variação do nível de água da LP (porção estuarina) e o nível de água do canal São Gonçalo para os anos de 2007 a 2008.

Na Figura 8 observa-se que os dois níveis apresentaram comportamentos semelhantes. Fernandes & Niencheski (1998) sugeriram que ventos do quadrante sul induzem o aporte de água doce da Lagoa Mirim para a região estuarina através do canal São Gonçalo. Todavia, a contribuição desse sistema não pode ser considerada no aumento do nível da LP, pois dada sua proximidade com o canal da barra, a água rapidamente escoar em direção ao mar.

Na região estuarina, além das contribuições das descargas de água doce ocorre ainda o aumento do nível da LP através da entrada da água do mar pelo canal da barra do Rio Grande, esta variação é mostrada na Figura 9.

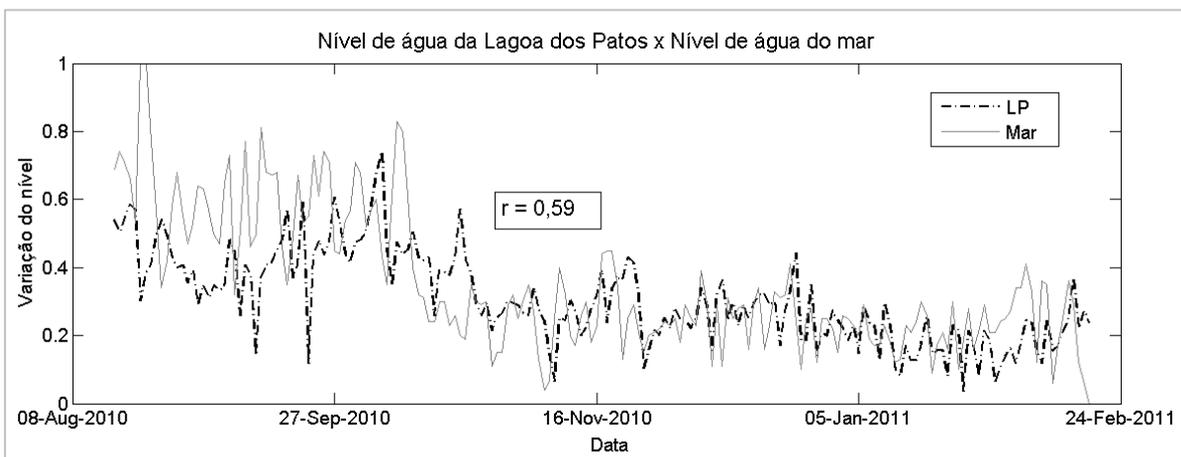


Figura 9 - Nível do mar a partir do sensor instalado nos molhes de Rio Grande e da Lagoa dos Patos na estação do Laranjal.

A entrada da água do mar no sistema estuarino é descrita em diversos trabalhos (e.g. Hartmann & Schettini, 1991; Castelão & Möller, 2003). Porém na Figura 9 é mostrada a real variação do nível do mar, a partir do sensor de pressão, associada à variação do nível na porção final da LP. A correlação entre os dados de

nível do mar com os dados de nível da estação do Laranjal é positiva e moderada, com $r = 0,59$.

Assim, este capítulo mostrou que o nível de água da LP é influenciado principalmente através da descarga fluvial proveniente da bacia de drenagem, sobretudo pelo rio Jacuí. Na porção estuarina, esse efeito ainda é observado, porém nessa região acontece a penetração da água do mar ocasionando equilíbrio entre ambas massas da água e fazendo com que os níveis da célula norte e na porção estuarina sejam maiores que na célula central e sul. A intensidade e a direção do vento são os fatores responsáveis pelas oscilações dos níveis ao longo da LP.

4. CONCLUSÕES

- As células norte, central, sul e a região estuarina da Lagoa dos Patos apresentaram semelhança entre os dados de nível de água. A correlação entre as três regiões foi positiva e forte ($r \approx 0,81$).
- A célula norte apresenta o nível de água superior as demais células, fazendo com que a água se direcione ao Oceano Atlântico, através do gradiente hidráulico formado e apenas os ventos NE de alta intensidade fizeram com que os níveis fiquem menores em relação as demais células.
- A descarga fluvial proveniente do Rio Guaíba, representada pelo rio Jacuí tem grande influência no nível de água ao longo da Lagoa dos Patos.
- A precipitação pluviométrica, adquirida das estações próximas a LP, não apresentou influência direta no nível da LP. Sua contribuição é proveniente da precipitação que ocorre em toda a bacia de drenagem, a qual é escoada através dos tributários para a LP.
- A porção estuarina teve boa correlação com os dados da descarga fluvial provinda da célula norte, com os dados do nível do canal São Gonçalo como também com a variação do nível do mar.

5. REFERENCIAS

CASTELÃO, R.M.; MÖLLER JUNIOR, O.O. Sobre a circulação tridimensional forçada por ventos na Lagoa os Patos. **Atlântica**, v. 25(2), p.91-106, 2003.

CPRM. Serviço Geológico Brasileiro. **Determinação de altitudes da estação de Ipanema –Rio Guaíba**. (Relatório Interno), 1985.

DILLENBURG, S.R.; ROY, COWELL, P.J.; TOMAZELLI. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the shoreface translation-barrier model (STM). **Journal of Coastal of Research**. v. 16, p. 71-81, 2000.

FERNANDES E. H.L. & NIENCHESKI L. F. H. Um modelo de caixas simplificado para o estudo dos processos de transporte na região estuarina da lagoa dos Patos (RS-Brasil). **Atlântica**, Rio Grande, v. 20. p.73-85., 1998.

FERNANDES, E. H. L.; DYER, K. D.; MOLLER, O. O. Spatial gradients in the flow of southern Patos Lagoon. **Journal of Costal Research** v. 20, pg. 102-112, 2004.

FRIEDRICH, A. C.; Hidroquímica da Lagoa Mirim-RS. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Oceânica) – FURG, 2004

HARTAMANN, C.; SCHETINI, C.A.F. Aspectos hidrológicos na desembocadura da Laguna dos Patos. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 21(4), p. 371-377, 1991

MACHADO, C.S.; NIENCHESKI, L.F.H.; ATISSANO, K. A Lagoa dos Patos como recarga de um aquífero freático costeiro. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Oceanografia, São Paulo, 2006.

MÖLLER, O.O., LORENZETTI, J.A., STECH, J.L., MATA, M.M. The Patos Lagoon summertime circulation and dynamics. **Continental shelf research**. v. 16, n. 3, p. 335-351, 1996.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A; **Hidrologia estatística**. CPRM, Belo Horizonte, 2007.

NIENCHESKI, L.F.H.; WINDOM, H.L. Nutrient flux and budget in Patos Lagoon estuary. **The science of the total environment**. v. 149, p. 53-60, 1994.

NIENCHESKI, L. F. H., H. L. WINDOM, W. S. MOORE; JANHNKE, R.A. Submarine groundwater discharge of nutrients to the ocean along a coastal lagoon barrier, Southern Brazil. **Marine. Chemistry**. V.106, p. 546-561, 2007.

NIENCHESKI, L.F.H.; WINDOM, H.L. Chemistry of a surficial aquifer of a large coastal lagoon barrier and its relation to adjacent surface water of Brazil. **Journal of coastal Research**. In press, 2014.

SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C. **O estuário da Lagoa dos Patos**: Um século de transformações. Rio Grande: FURG, 2010.

TODD, D.K. **Hidrologia de águas subterrâneas**. Trad. sob direção de Araken Silveira e Evelyn Bloem Souto Silveira. São Paulo, EDGARD. 319p, 1959.

TOMAZELLI, L. J. O Regime dos Ventos e a Taxa de Migração das Dunas Eólicas Costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, v. 20(1), pg.18-26, 1993.

VAZ, A.C.; MÖLLER JR, O.O.; ALMEIDA, T.L. Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. **Atlântica**. V.28(1), p. 13-23, Rio Grande, 2006.

VIEIRA, EURÍPEDES FALCÃO. Rio Grande do Sul: geografia física e vegetação. Porto Alegre: Sagra. 184p., 183

CAPÍTULO 2 - A LAGOA DOS PATOS COMO RECARGA DOS AQUÍFEROS COSTEIROS

RESUMO

A Lagoa dos Patos (LP) é separada do Oceano Atlântico por uma barreira composta por sedimentos arenosos, que facilita a formação de aquíferos costeiros. Devido à dimensão da LP, esta assume um papel importante na hidrogeologia deste local. O objetivo desse capítulo foi avaliar o nível da água subterrânea, através de séries temporais de dados de níveis de água obtidos a partir dos poços permanentes instalados ao longo da barreira e, saber qual a influência do nível da LP sobre esses níveis internos. Os dados de níveis foram associados a outras variáveis ambientais, tais como precipitação e vento. Os poços estão dispostos ao longo da barreira arenosa separados em três células (norte, central e sul). Em cada uma das células tem-se poços representando a parte próxima ao mar, próximo a lagoa e na zona intermediária. Além de representarem a profundidade de 10 e 15 metros. Na célula sul e central da barreira os poços com profundidade de 10 e 15 metros demonstraram semelhantes níveis de água, sugerindo que ambos aquíferos recebem a mesma recarga. Quanto à distribuição espacial, a célula central se mostrou muito homogênea em relação ao nível de água dos seus 3 poços, com o coeficiente de correlação maior que 0,7. A Lagoa dos Patos mostrou forte influência nos níveis da água subterrânea, observados principalmente nos poços próximos a ela, com o coeficiente de correlação entre os dois sistemas sendo em torno de 0,80. Em períodos de maior nível da lagoa, essa correlação aumenta corroborando ainda mais com a hipótese da importância da LP nessa região. No entanto, a correlação do nível dos poços localizados próximos ao mar com a LP foi menor ($r \sim 0,36$) mostrando que nessa região o efeito da LP diminui e que outras variáveis são importantes na recarga deste aquífero, principalmente a variação do nível do mar.

PALAVRAS CHAVES: Poços permanentes. Precipitação. Vento.

ABSTRACT

The Patos Lagoon (PL) is separated from the Atlantic Ocean by a barrier formed by sandy sediments, supporting the formation of the coastal aquifer. Due to its dimensions the Patos Lagoon has an important role in the hydrogeology of this region. The objective of this chapter was to evaluate the groundwater level, through temporal series obtained from permanent wells installed along the barrier, to assess the influence of the PL water levels on this subterranean system. These values were associated with others environmental variables, such as precipitation and wind. The wells are disposed in three cells along the barrier separate in three cells (northern, central and southern). In each one of the cells having wells representing the portion near of the ocean, near the lagoon and in intermediate zone. Also of representative the depth of 10 and 15 meters. In the southern and central cells of the barrier the 10 and 15 m deep wells displayed similar water levels, which suggests that both aquifers receive the same recharge. As for the spatial distribution, the central cell showed considerable homogeneity in relation to the water levels in both wells, displaying a coefficient correlation higher than 0,7. Patos Lagoon showed strong influence on the subterranean water levels, especially those observed in the wells located closer to it, with a correlation coefficient around 0,80 between both systems. In periods of higher lagoon levels, correlation increased sustaining the hypothesis the influence of PL in this region. Nonetheless, the correlation of the groundwater levels with the PL in the wells located

near the ocean was lower ($r \sim 0,36$). This shows that in this region, the influence of LP decreases and other variables might be important for the recharge of this aquifer, such as the variation of the ocean water levels.

KEYWORDS: Permanent wells. Precipitation. Wind.

1. INTRODUÇÃO

Aquífero é uma formação geológica com porosidade e permeabilidade interconectadas com a finalidade de transferir e armazenar quantia suficiente de água sob gradiente hidráulico. A maioria dos aquíferos desenvolvidos que possuem altas vazões consistem em areias e cascalhos inconsolidados e são encontrados geralmente em planícies costeiras (Clearly 1989).

A planície costeira do Rio Grande do Sul é constituída pelo retrabalhamento de sedimentos durante vários ciclos transgressivos-regressivos glacioeustáticos do quaternário, levando à geração de pelo menos quatro sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira, denominado do mais antigo para o mais moderno, de sistemas I, II, III, IV (Villwock. 1986). Tomazelli & Villwock (2005) atribuem ao sistema deposicional Laguna-Barreira III o isolamento da Laguna dos Patos e o sistema deposicional Laguna –Barreira IV, a barreira mais recente da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, o qual é constituído essencialmente por areais que tem sua origem na plataforma interna e/ou são resultado do transporte eólico.

No período atual entre o mar e a Barreira III estão sendo depositados sedimentos arenosos, argilosos ou orgânicos bem diferenciados. Nesses locais o vento (transportando areia), a água de escoamento da Barreira III (transportando sedimentos) e o mar (estabelecendo bancos elevados de areia) formam banhados, lagoas e dunas bem distintas em sucessões contínuas ao longo do litoral (Cunha, 1997). Toda essa extensão abrange um grande número de corpos d' água de grande dimensão como a Lagoa dos Patos e a Lagoa Mirim. O único contato superficial das águas continentais com oceano ocorre através do estuário da LP em uma pequena abertura na região sul. Na porção norte da barreira existe o estuário do rio Tramandaí, o qual não é considerado neste estudo.

Mesmo com apenas dois estuários superficiais, as águas oceânicas da região costeira do RS apresentam-se enriquecida por nutrientes e metais com picos de produção primária próxima à costa. Esse fenômeno é associado geralmente quando aquíferos costeiros se conectam com a superfície através de sedimentos permeáveis (Moore, 1999) juntamente com a contribuição dos corpos hídricos superficiais. Durante o inverno, quando o nível da LP é mais alto, baixas salinidades são

observadas ao longo da praia do Estreito (Figura 3), o que é difícil de explicar a não ser pelo transporte de água subterrânea através dos sedimentos permeáveis da barreira (Windom & Niencheski, 2003)

Pelas características hidrológicas e geológicas do sistema da LP, é hipotetizado que uma grande quantidade de água doce flui e escoar através da barreira, onde se mistura com a água salgada através dos sedimentos permeáveis (Niencheski *et al.*, 2007). Através de diversas análises químicas e hidrológicas, Windom & Niencheski (2003), Niencheski *et al.* (2007) e Atissano *et al.* (2008) em estudos mostraram esse transporte de nutrientes e substâncias através da barreira e a quantidade de descarga subterrânea a partir do aquífero costeiro para o oceano.

Devido à dimensão da LP, esta assume um papel importante nos estudos hidrológicos da região. Praticamente toda a LP, fica acima do nível do mar (em torno de 0,5 m) e pode chegar a 3 metros acima do nível do mar em situações de vento forte e altas vazões dos tributários (Niencheski, *et al.*, 2007). Mesmo podendo ocorrer o fluxo dos dois lados (lagoa – oceano e oceano – lagoa) assume-se que a água doce da lagoa advecta através da barreira permeável de areia em resposta a carga hidráulica criada por ela própria (Niencheski, *et al.*, 2007).

O conhecimento da qualidade hídrica e hidrogeologia dos aquíferos costeiros ainda é uma incógnita em diversas regiões. Portanto esse estudo visa contribuir para o avanço no conhecimento dos aquíferos costeiros da costa sul do Brasil, através da análise da influência da LP na recarga do aquífero costeiro em estudo, a partir de uma série histórica de dados de nível de água subterrânea, juntamente com outras variáveis ambientais (precipitação e vento).

2. METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

Os poços permanentes utilizados neste trabalho estão distribuídos ao longo do sistema de barreira que separa a Lagoa dos Patos (LP) do Oceano Atlântico (Figura 10). Os poços foram construídos em 2003 e são representados em três conjuntos (denominados de célula), localizados na parte norte, central e sul da LP.

Em cada uma destas células foram instalados grupos de poços, para facilitar a análise, neste trabalho refere-se cada grupo como poço, diferenciando sua profundidade, por exemplo, o poço com profundidade 10m localizado no grupo 1, é identificado como poço 1 10m. A célula norte é composta pelo poço 2 e pelo poço 3, ambos na profundidade de 15 metros. Na célula central tem-se os poços 4, 5 e 6, todos em profundidade de 10 e 15 metros. Já a célula sul é representada pelo poço 7,

na profundidade de 15 metros e pelo poço 9 nas profundidades 11, 14 e 27 metros. Totalizando 13 poços. A Figura 10 mostra a localização desses poços ao longo do sistema de barreira.

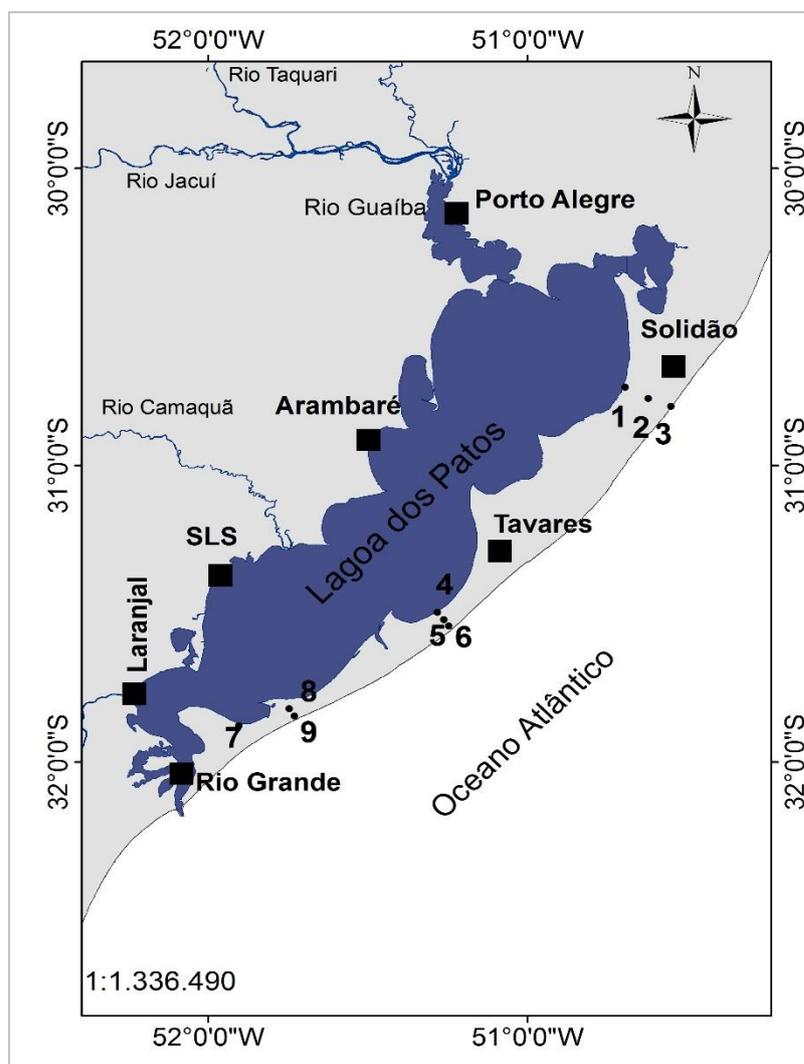


Figura 10 - Área de estudo mostrando a localização dos poços (bolinhas) e a localização das estações meteorológicas utilizadas (Quadrados).

O clima da região é temperado úmido com altas temperaturas no verão e baixas no inverno. A precipitação varia de 1.000 mm a 1.500 mm distribuídas durante todo o ano. A costa do Rio Grande do Sul é orientada no sentido NE-SW, caracterizada por ondulações suaves e monótonas. A costa está sujeita a ondas de ondulações geradas em latitude sul e ondas geradas pelos ventos, produzidos pela forte brisa marinha nordeste (Dillenburg, 2000).

2.2 Métodos de análise

Para representar o nível de água do aquífero costeiro em estudo foram utilizados dados de sensores de pressão hidrostática, uma vez que a variação de

pressão sofrida no poço é diretamente proporcional a variação do nível deste. Os sensores foram colocados nos 13 poços permanentes (Figura 10).

A análise dos dados de nível foi realizada a partir de uma série temporal de Novembro de 2006 até Julho de 2013. Os dados de nível foram adquiridos de hora em hora pelo sensor de pressão HOB0 (<http://www.sigmasensors.com.br/>). A partir do software HOBOWARE os dados de níveis em pressão foram convertidos para níveis em metros e posteriormente para um dado médio de nível diário. Os dados estão disponibilizados em:

https://drive.google.com/folderview?id=0B6h0cL3TyQB_emdEaEJnMDhtb0U&usp=sharing.

Tabela 1 - Poços em estudo e seus respectivos períodos de dados e o n amostral.

Poço	Período de dados	N amostral
Poço 2 – 15 metros	03/11/2006 – 05/10/2007	1373
	15/12/2007 – 20/10/2009	
	16/12/2011 – 11/12/2012	
Poço 3 – 15 metros	03/11/2006 – 05/10/2007	1507
	14/12/2007 – 19/10/2009	
	01/08/2010 – 10/12/2011	
Poço 4 – 10 metros	03/11/2006 – 05/10/2007	944
	13/12/2007 – 18/10/2009	
Poço 4 – 15 metros	03/11/2006 - 05/10/2007	1644
	12/12/2007 – 18/10/2009	
	02/08/2010 – 17/08/2011	
	11/12/2011 - 11/04/2012	
Poço 5 – 10 metros	14/05/2012 – 17/09/2012	589
	08/07/2005 – 31/05/2010	
	01/08/2010 – 14/04/2011	
Poço 5 – 15 metros	11/12/2011 – 21/07/2013	357
	28/06/2009 – 19/06/2010	
Poço 6 – 10 metros	04/11/2006 – 07/10/2009	767
	12/12/2007 – 17/02/2009	
Poço 6 – 15 metros	04/11/2006 – 07/10/2009	771
	14/12/2007 – 17/02/2009	
Poço 7 – 10 metros	04/11/2006 – 06/10/2007	1832
	11/12/2007 – 17/10/2009	
	01/08/2010 – 21/03/2011	
Poço 9 – 11 metros	08/05/2011 – 12/12/2012	1242
	11/12/2007 – 18/10/2009	
	11/12/2011 – 28/06/2013	
Poço 9 – 15 metros	12/12/2007 – 30/05/2010	901
Poço 9 – 27 metros	11/12/2007 – 01/06/2010	902

Os dados de nível foram padronizados, entre 0 e 1, de maneira adimensional conforme a fórmula abaixo (Equação 5). A variação de nível interno do poço (ΔN), em um intervalo de tempo considerado será dada por:

$$\Delta N = \frac{N - N_{\min}}{\Delta N_t} \quad (5)$$

Onde:

N = é o nível diário no interior do poço;

N_{\min} é o valor mínimo do nível interno do poço de toda a série de dados;

ΔN_t é a diferença entre os valores mínimo e máximo observados para nível interno do poço durante a série de dados.

Os dados de nível da Lagoa dos Patos, das estações do Laranjal, São Lourenço do Sul e Arambaré foram obtidos junto a Agência nacional de água (ANA) (Figura 3 – Capítulo 1) e, maiores informações podem ser encontradas na metodologia do capítulo 1. Os dados de níveis foram padronizados, entre 0 e 1, de maneira adimensional conforme a equação acima (Equação 5).

Além de comparar o nível de água dos poços com o nível da LP, foram utilizados também dados meteorológicos da região em estudo (precipitação pluviométrica, vento e nível do mar)

Tabela 2 - Variáveis utilizadas na análise do nível de água subterrânea sua fonte de aquisição, localização da estação e a célula correspondente a comparação dos dados.

Variáveis	Fonte de aquisição	Localização da estação	Célula correspondente
Precipitação pluviométrica	Estação Meteorológica da FURG	Rio Grande	Célula Sul
	ANA	Tavares	Célula Central
	ANA	Solidão	Célula Norte
Vento	Praticagem do Porto de Rio Grande	Rio Grande	Célula Sul e Central
Nível do mar	INMET	Porto Alegre	Célula Norte
	Lab. Hidroquímica	Rio Grande	

Os dados de intensidade e direção do vento, no presente estudo serão transformados para 8 quadrantes, pois o objetivo é identificar ventos de Sul/Sudeste ou Norte/Nordeste de alta intensidade. Na Tabela 3 é mostrado o valor em graus das respectivas direções.

Tabela 3 - Transformação para graus das direções dos ventos fornecidos pela praticagem de Rio Grande.

Direção	Direção (°)	Direção (°) convertido
N	0	
NNE	22,5	0
NE	45	
ENE	67,5	45
E	90	
ESE	112,5	90
SE	135	
SSE	157,5	135
S	180	
SSW	202,5	180
Sw	225	
WSW	247,5	225
W	270	
WNW	292,5	270
NW	315	
NNW	337,5	315

Além da transformação para menor números de quadrantes, os dados fornecidos são horários portanto foi identificado o vento predominante do dia e a média de intensidade do respectivo vento predominante. Para a confecção dos gráficos, estes ainda foram convertidos para valores de u e v, componente zonal (ao longo de uma linha de latitude) e componente meridional (ao longo de uma no meridiano) respectivamente. Para chegar nesses valores, utilizou-se trigonometria básica.

$$u = -|Int| * \text{sen} \left[\frac{\pi}{180} * Dir \right] \quad (6)$$

$$v = -|Int| * \text{cos} \left[\frac{\pi}{180} * Dir \right] \quad (7)$$

Onde:

Int: intensidade do vento (km/h, m/s, knot, mph...)

Dir: direção do vento (°).

Existem inúmeros métodos estatísticos que tem como finalidade avaliar a associação entre variáveis, dentre os quais a correlação e a regressão ganham destaque (Naghetini & Pinto, 2007; Trauth, 2010). A correlação é na maioria das vezes

o primeiro estágio da estatística e ela nos mostra uma estimativa aproximada de uma tendência de uma série de dados (Trauth, 2010).

A correlação no presente trabalho foi aplicada sobre os dados de níveis de água dos poços e da LP e foi baseado no coeficiente de *Pearson*. Esse coeficiente é um valor numérico que serve como medida de associação entre duas variáveis, o valor é adimensional e varia de -1 a 1.

Além da correlação básica foi realizada também a correlação cruzada entres esses dois dados. A correlação cruzada busca a similaridade entre dois sinais em função do atraso aplicado a um deles, com isso temos a defasagem com que o sinal dos dados de nível de água subterrânea responde ao sinal de nível de água da LP. Além das técnicas de estatística descritiva, correlação e regressão, nos dados de vento ainda foi aplicado um teste variância (ANOVA) para identificar se existia diferença significativa no valor do nível da água subterrânea nas diferentes direções de vento.

3. RESULTADO E DISCUSSÕES

O poço 9 possui valores de salinidade expressivos, diferentemente dos demais poços em estudo (Tabela 4). Pela proximidade deste poço com o mar, um pouco mais que 1 km, supõe-se que a água do mar cause influência neste aquífero em comparação aos demais, os quais não apresentaram altos valores de salinidade. Na profundidade de 15 metros a salinidade média atingiu valores superiores a salinidade do mar. Devido a estes altos valores suponha-se que essa região se encontre confinada ou semi-confinada, fazendo com que a água nesse local tenha alto tempo de residência e assim aumentando a concentração de íons.

Tabela 4 - Valores de salinidade dos poços, conforme a profundidade, a partir de uma média da série temporal de dados de 2003 até 2012.

Poço	Salinidade
Poço 6 (prof. 10 metros)	0,5
Poço 6 (prof. 15 metros)	0,5
Poço 9 (prof. 11 metros)	8,62
Poço 9 (prof. 15 metros)	53,8
Poço 9 (prof. 27 metros)	23,75
Demais poços	0

A Figura 11 mostra as séries temporais (dez-2007 a jan-2009) das 3 profundidades (11, 15 e 27 metros) do poço 9. Nas profundidades de 11 e 15 metros, os níveis de água apresentaram comportamento semelhante, ambas oscilaram durante o período e tiveram um coeficiente de correlação positivo e forte ($r = 0,89$). Em contrapartida, o nível no poço de 27 metros se mostrou constante no tempo. Isso porque abaixo da barreira podem existir dois diferentes sistemas de aquíferos ativos, um superficial não confinado que responde conforme as fontes de recarga externa e outro mais profundo, possivelmente mais regional (Niencheski, *et al.*, 2007).

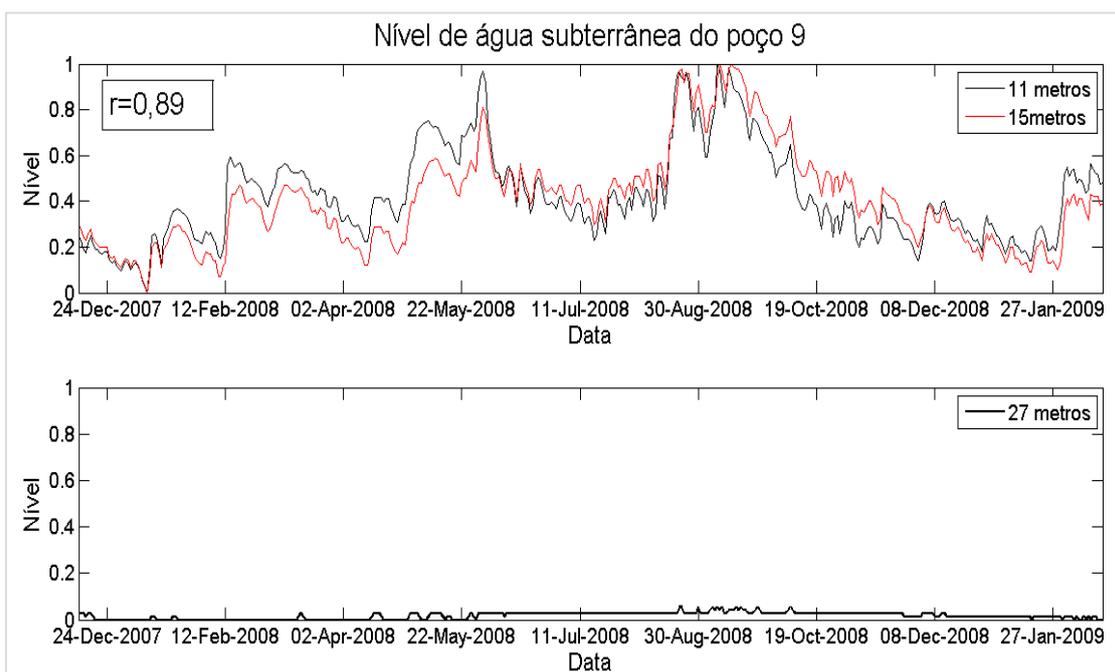


Figura 11 - Nível da água subterrânea no poço 9, nas profundidades de 11, 15 e 27 metros

Os dados de nível de água dos demais poços foram submetidos a uma análise de correlação entre si, a partir de um período comum. O intuito desta análise é verificar especialmente se existe ou não semelhança entre a variação de nível dos poços. Assim como observado no poço 9, os demais poços com profundidades de 10 e 15 metros (poço 6 e poço 4) tiveram forte correlação entre os seus níveis (Tabela 5).

Tabela 5 – Resultado das correlações realizadas entre os poços em estudo para o período entre 04/11/2006 a 17/02/2009 com intervalo de dados em 08/07-11/07

	7_10m	6_10m	6_15m	5_10m	4_15	4_10m	3_15m	2_15m
7_10m	1,00	0,09	0,09	0,43	0,31	0,35	0,03	0,24
6_10m	0,09	1,00	1,00	0,71	0,84	0,87	0,59	0,52
6_15m	0,09	1,00	1,00	0,71	0,85	0,88	0,60	0,53
5_10m	0,43	0,71	0,71	1,00	0,92	0,89	0,49	0,88
4_15m	0,31	0,84	0,85	0,92	1,00	0,98	0,54	0,76

4_10m	0,35	0,87	0,88	0,89	0,98	1,00	0,56	0,70
3_15m	0,03	0,59	0,60	0,49	0,54	0,56	1,00	0,59
2_15m	0,24	0,52	0,53	0,88	0,76	0,70	0,59	1,00

Pela semelhança entre os níveis nas profundidades de 10 e 15 metros suponha-se que o aquífero superficial possa atingir no mínimo profundidades de 15 metros nesta região, e sofrendo interferências de corpos hídricos superficiais pelas oscilações que os níveis mostraram.

A célula central representada pelos poços 4, 5 e 6 (Figura 12) mostrou comportamento semelhante em toda sua região, apresentando forte correlação positiva entre os níveis, com valores de coeficiente superiores a 0,7 (Tabela 5). A alta interação observada entre os poços sugere que o sistema é dinâmico e interligado e que os diferentes aquíferos podem receber água da mesma fonte, no caso pela LP.

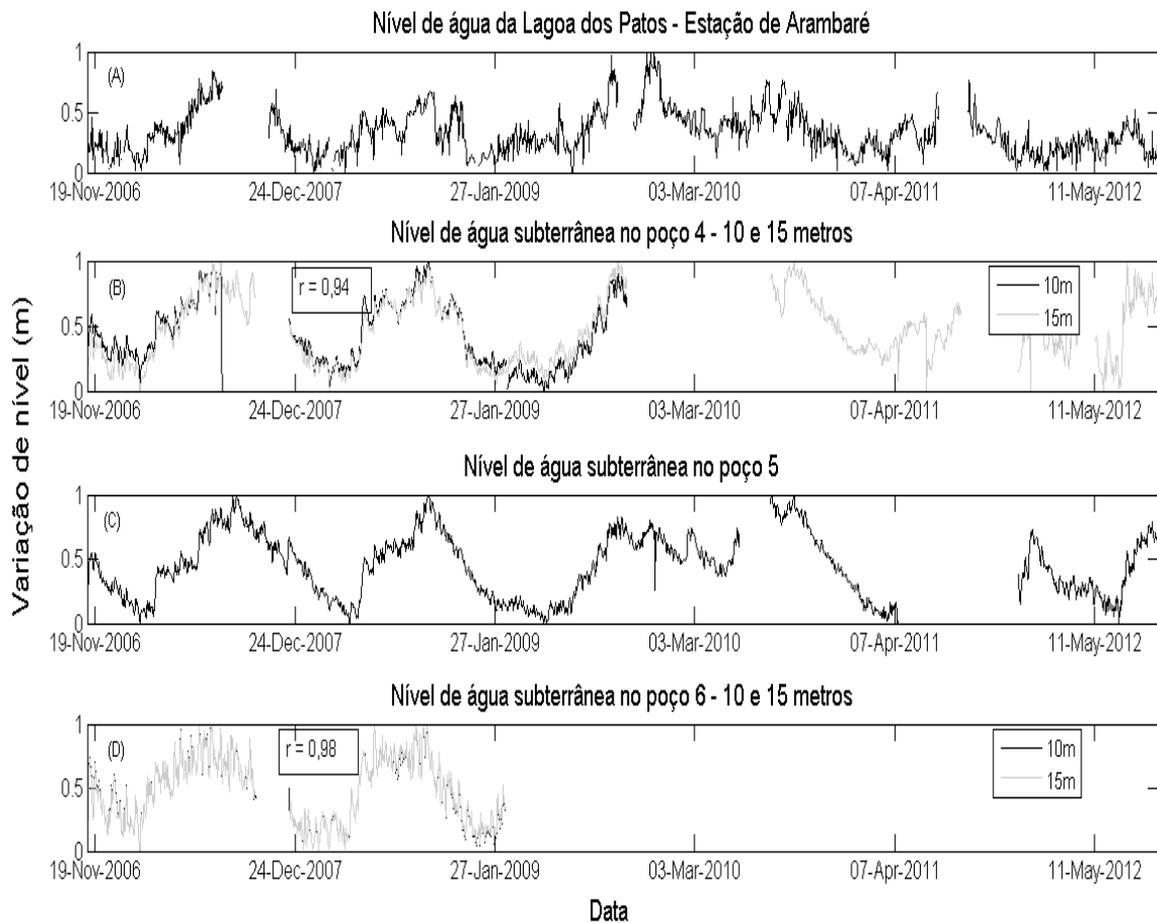


Figura 12 – Nível da água da LP (A) Nível da água subterrânea na célula central para os poços 4 (B) e 6 (D) nas profundidades de 10 e 15 metros e poço 5 (C) na profundidade de 10 metros

Ao contrário da célula central, a célula norte, representada pelos poços 2 e 3, não mostrou interação entre os seus poços. Quando o período de dados avaliados é maior (Nov-2006 - Out-2009) a correlação entre eles diminui, atingindo valores de coeficiente de correlação de 0,19 (Figura 13). Assim sugere-se que estes dois poços estão situados em diferentes aquíferos, os quais possuem comportamento distinto e podem receber recarga de diferentes fontes.

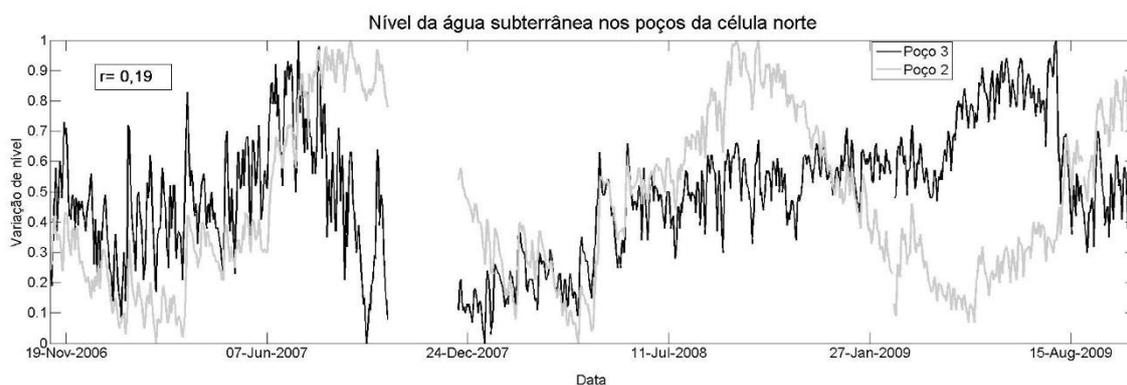


Figura 13 - Nível da água subterrânea nos poços da célula norte (poço 2 e poço 3 de 15 metros) para o período de 03/11/2006 a 18/10/2009.

Os poços situados na zona intermediária entre o oceano e a lagoa (poços 5 e 2) tiveram comportamento semelhante, apresentando forte correlação positiva entre si ($r \approx 0,88$). Entretanto os poços situados nas zonas marginais não apresentaram essa semelhança, com coeficiente de correlação de 0,60 e 0,31 entre os poços próximos do mar e próximos à lagoa, respectivamente (Tabela 5). A maior interação dos poços na região intermediária, pode estar atribuída à falta de ação direta do mar ou da LP sob a água subterrânea desta região

Os poços marginais recebem interferência direta em seus níveis através das fontes externas próximas. A dimensão da LP faz com que ela tenha um papel fundamental na hidrogeologia da região e apresente forte relação com o aquífero costeiro adjacente. Essa interação é observada principalmente nos poços localizados próximos a ela, como o caso dos poços 7 e 4, que estão a menos de 15 metros de distância da lagoa. Na Figura 14 observa-se a semelhança da variação do nível do poço 4 (célula central) com o nível de água da LP na estação de São Lourenço do Sul. O coeficiente de correlação entre os dois níveis foi de 0,70, quando comparada a série inteira. Porém, em períodos de tempo menores (01-01-2011 a 31/21/2011) a correlação chega a $r \approx 0,9$.

A maior correlação encontrada no poço 4, célula central, em relação ao poço 7, célula sul, pode ser atribuído ao equilíbrio da água da LP com o mar na região sul, pela entrada de água marina na lagoa através do canal da barra.

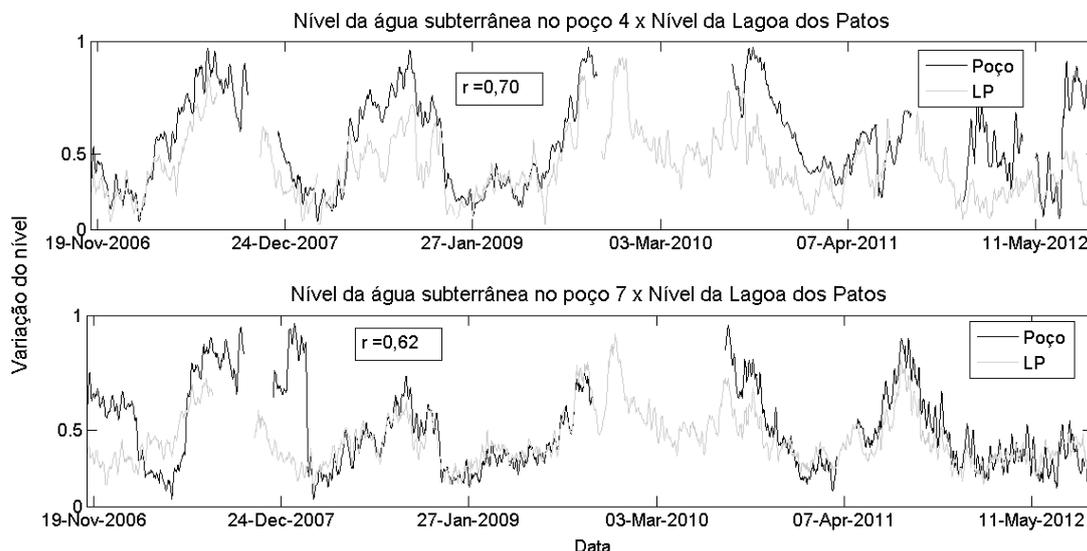


Figura 14 - (A) Nível da água subterrânea do poço 7 e Nível da água da LP na estação do Laranjal (B) Nível da água subterrânea no poço 4 e nível da água da LP na estação de Arambaré

Outro fator importante corresponde ao tempo de resposta entre os dados, ou seja, se a variação do nível da LP é ou não instantaneamente responsável pela variação do nível da água subterrânea. A presença de sedimentos na margem da lagoa funciona como uma barreira do fluxo de água, e, dependendo do tipo de sedimento da região, interfere na velocidade do fluxo e conseqüentemente no tempo que a água leva para atingir o aquífero. A Figura 15 mostra, através da análise cruzada, o tempo de reposta entre o nível de água da LP e o nível de água do poço 4. O tempo corresponde o instante onde ocorre a correlação mais forte entre os níveis. O tempo de resposta do nível da água subterrânea destes poços em relação ao nível da LP foi menor que 24 horas (Figura 15), sendo portanto instantânea a resposta do nível da água subterrânea advinda da LP nesta região.

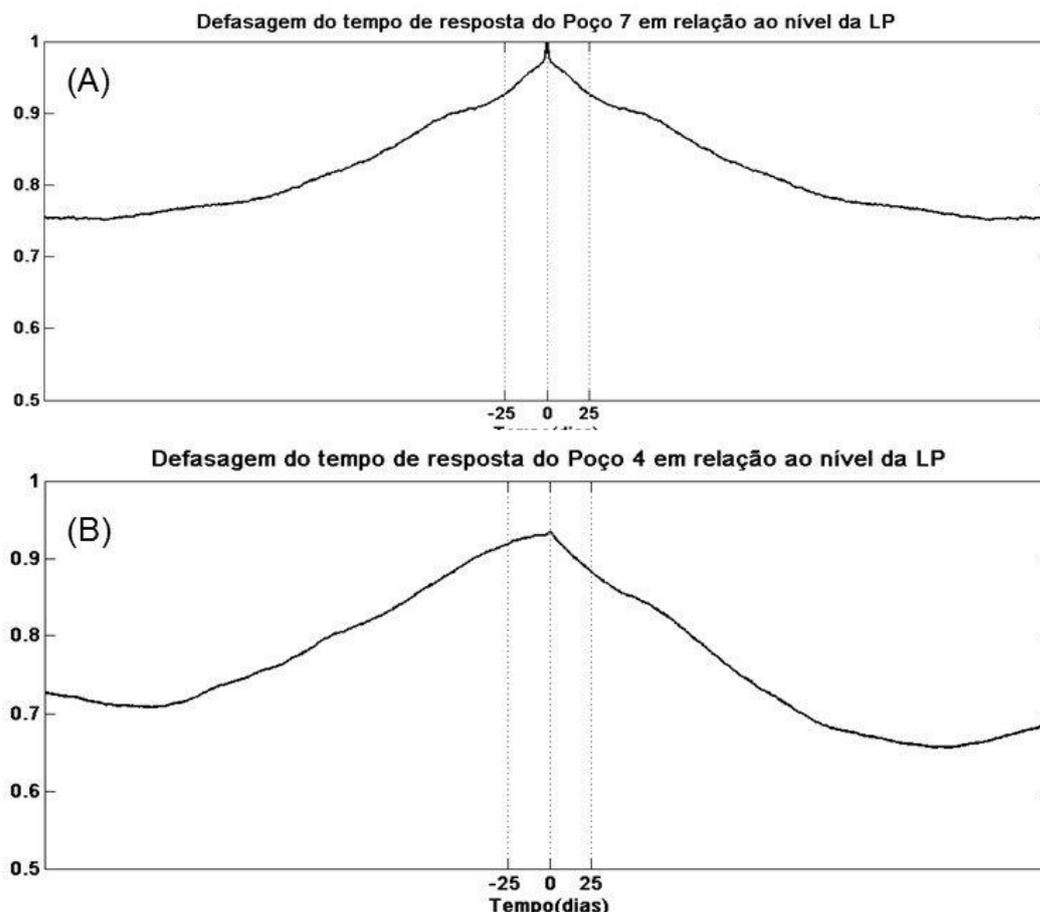


Figura 15 - Correlação cruzada entre o nível de água do poço 4 e a LP (A) e do poço 7 (B) com a LP

Da mesma maneira como o nível da LP é semelhante ao nível do poço 4, pode-se verificar ainda essa interação no poço 7, célula sul (Figura 14). O coeficiente de correlação encontrado para os dois níveis foi de 0,62 quando toda a série é analisada, chegando a coeficientes de correlação de 0,90 quando períodos inferiores são analisados. O tempo de defasagem do poço para a lagoa também foi menor que 24 horas (Figura 15), evidenciando que na região próxima à LP o aquífero responde rapidamente ao nível da lagoa, sendo esta a principal fonte de recarga do aquífero situado nessa região.

Devido à relação do nível da LP com o nível do poço 7, analisou-se a interferência do vento nordeste (NE) nos dados de nível deste aquífero. Visto que vento NE tende expulsar a água da região norte da LP em direção a região sul, elevando o nível desta região (Möller, *et al.*, 1996), assim como observado no Capítulo 1. A Figura 16 mostra a entrada de vento NE de alta intensidade e a variação no nível de água do poço para o respectivo período.

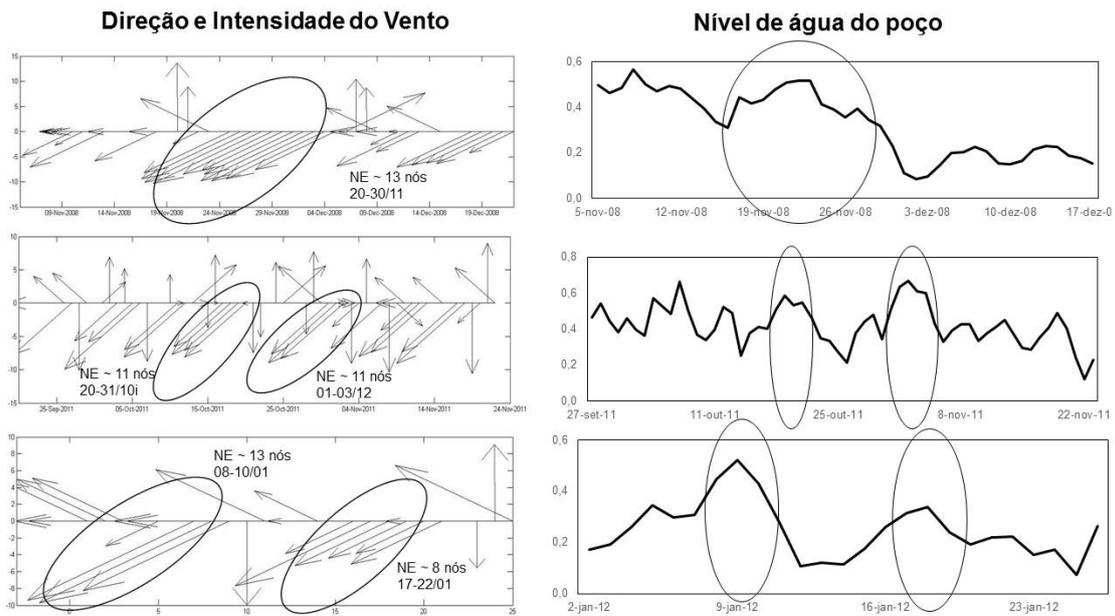


Figura 16 - Efeito do vento NE no nível da água no poço 7. Os círculos correspondem os períodos de vento nordeste de alta intensidade e a elevação do nível da água subterrânea

Dessa forma, os ventos de alta intensidade da direção NE fazem o nível da LP na região sul aumentar e conseqüentemente a interação da LP com o aquífero também aumenta. Observa-se na Figura 16 que quando ocorre vento NE o nível de água subterrânea também se eleva na região marginal da LP.

Os níveis dos poços na região central da barreira arenosa também apresentaram forte correlação positiva com os níveis da lagoa (Figura 12), desde a região próxima à lagoa (poço 4) até a região próxima ao mar (poço 6). A região central é caracterizada pela baixa presença de sangradouros quando comparado as células sul e norte (Figueiredo & Calliari, 2005). A presença de corpos hídricos atenua o efeito da LP sobre o nível de água subterrânea, pois estes por estarem mais próximos ao poço causam também alterações no nível da água subterrânea da região, portanto a falta de corpos hídricos superficiais na região central faz com que a LP seja a principal fonte de recarga desses aquíferos.

Em contrapartida, temos o poço 2, localizado na região norte, que tem na sua proximidade a Lagoa da Figueira. A baixa correlação entre o nível da LP com o nível do poço ($r = 0,54$) sugere que a presença deste corpo d' água atenua o efeito da LP. Pela Figura 17 observa-se que existe semelhança entre os dados de nível do poço com o da LP, porém em determinados períodos o nível do poço apresenta comportamento diferente, e até atinge valores superiores ao da LP. Fato atribuído a recarga também provinda da Lagoa da Figueira.



Figura 17 - Nível da água subterrânea no poço 2 e o nível da LP.

Em aquíferos costeiros, além da variação do nível do mar ou de outros corpos d' água significativos, as fortes chuvas também podem ocasionar a recarga de aquíferos. Essa variável é importante e transiente, não podendo ser assumida simplesmente como estacionárias (Bratton, 2010). Assim sendo, foram identificados períodos de maior e menor precipitação e relacionou-se com o nível da água subterrânea nos respectivos períodos. Os dados de precipitação foram pegos das estações pluviométricas mais próximas ao poço (Tavares, Solidão e Rio Grande). A Tabela 6 mostra a precipitação acumulada de um período seco e chuvoso com a respectiva média do nível dos poços para o mesmo período.

Tabela 6 - Valores de precipitação pluviométrica associados com a média do nível dos poços, que apresentaram diferença entre períodos chuvosos e secos.

Poço	Precipitação acumulada		Nível de água do poço	
	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
Poço 2	391 mm	1197 mm	0,360	0,580
Poço 4	70 mm	1181mm	0,217	0,612
Poço 5	45 mm	964 mm	0,400	0,600
Poço 6	127 mm	813 mm	0,221	0,973
Poço 7	36 mm	536 mm	0,210	0,590

* Os períodos correspondem aos mesmos utilizados na figura 18, o qual estão apresentados no apêndice I, com exceção do poço 2 (Seco: 07/03-07/04/2008; 26/10-28/11/2008; 01-31/07/2009; 17/04-17/05/2012. Chuvoso: 09/06-09/07/2007; 12/04-15/05/2008; 01-30/09/2009; 27/08-27/09/2012).

Através dos dados obtidos da Tabela 6 observa-se que os períodos de maior precipitação pluviométrica foram associados aos maiores níveis quando comparados com os períodos secos, sendo portanto a precipitação responsável em parte da recarga destes aquíferos. Ainda sobre a análise da influência da LP sobre os poços, pegou-se os períodos de baixa pluviosidade e realizou-se novamente a correlação entre os dados de níveis dos poços e da LP, para que a possível influência da precipitação nos dados fosse descontada. A Figura 18 mostra o resultado da correlação realizada entre o nível da água subterrânea com o nível da LP em períodos secos e

chuvosos nos poços mais influenciados por ela. Os períodos dos respectivos cenários se encontram no apêndice I.

Como nos 4 poços analisados os dados do nível da LP e do poço se mostraram melhor correlacionados em períodos de maior precipitação, realizou-se também a correlação entre ambos os dados em períodos de lagoa com seu nível alto e com seu nível baixo. Quando comparado os períodos de maior e menores níveis da LP, os períodos de maior nível da lagoa apresentaram melhor correlação com os níveis de água subterrânea, coeficiente de correlação de 0,70 enquanto que em baixo nível a correlação foi de 0,20.

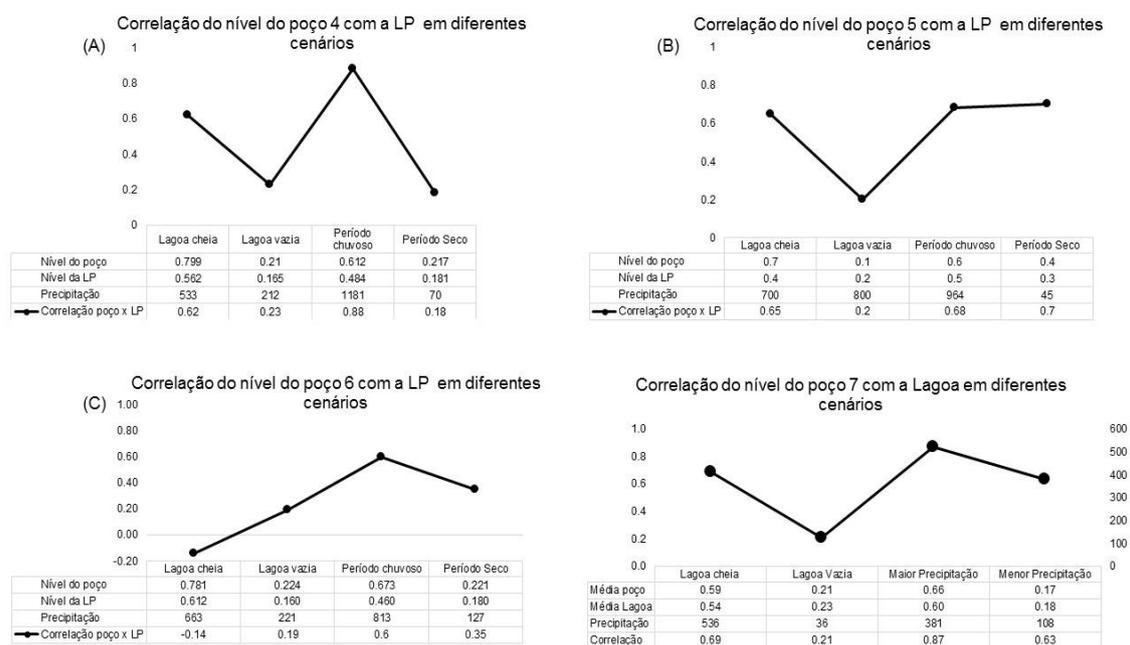


Figura 18 - Cenários com períodos chuvosos, secos, LP cheia, LP vazia, e suas respectivas correlações com o poço. Poço 4 (A), Poço 5 (B), Poço 6 (C), Poço 7(D)

Devido as melhores correlações serem em períodos chuvosos e em períodos em que a LP se encontra com seu nível alto, sugere-se que o efeito da chuva provavelmente afeta em um primeiro momento os níveis da LP, através da precipitação que ocorre na bacia de drenagem e, por conseguinte esta interfere nos níveis da água subterrânea. Quando Winter (1999) analisou as principais recargas de um aquífero costeiro, associou as maiores recargas do aquífero, com as maiores recargas da lagoa adjacente, causadas pela precipitação. Na região norte (próximo a São Simão) altas pluviosidades ocasionaram o transbordo de lagoas de bolso e a consequente formação de sangradouros ao redor. Assim os sangradouros formados a partir de lagoas de bolso atingem grandes larguras e profundidades (Figueiredo & Calliari, 2005).

Os aquíferos situados próximos ao mar são representados pelos poços 3,6 e 9. Com exceção do poço 6, os demais poços apresentaram baixa correlação com a LP (Figura 19). Estes poços estão localizados a menos de 1 km de distância do mar e a mais de 7 km da LP, sugerindo que o nível do mar cause interferência nos níveis nesta região. A precipitação também não mostrou influência direta no nível do poço. No caso do poço 9 a soma da precipitação do período chuvoso foi de 881 mm *versus* média do nível do poço de 0,504, enquanto no período seco foi de 70 mm *versus* nível do poço de 0,418.

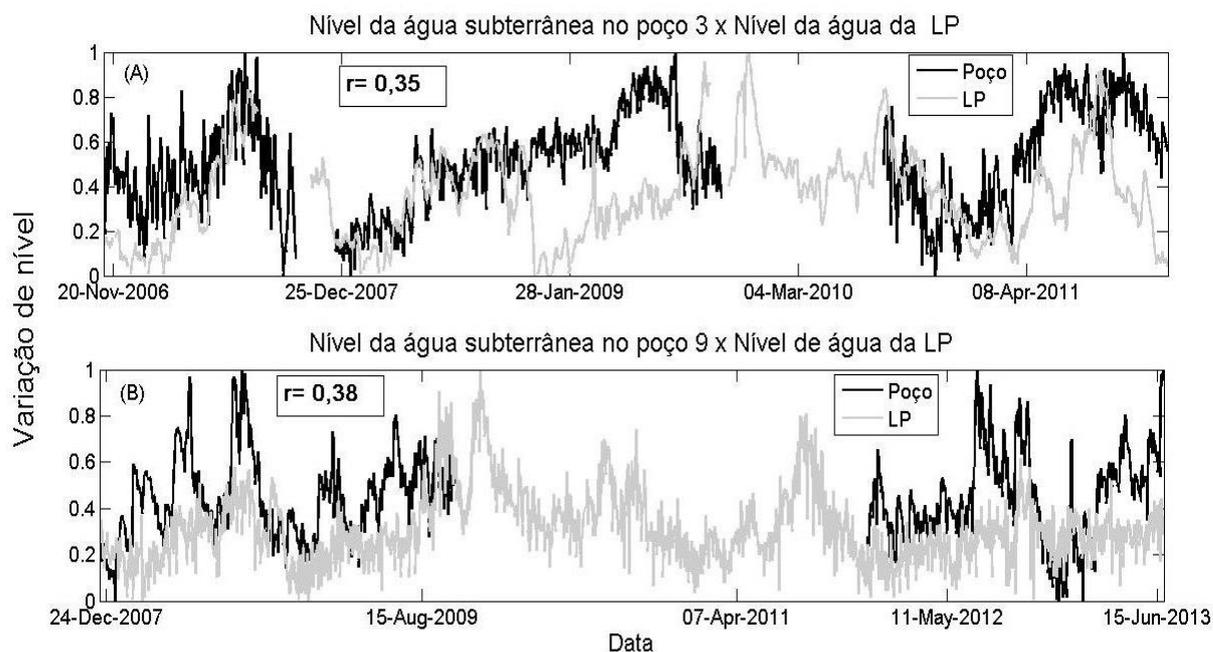


Figura 19 - Nível da água subterrânea no poço 3 (A) e no poço (9) x o nível de água da LP

Somando-se a orientação da costa do RS, NE/SW, ao transporte de Ekman, força que atua defletindo o escoamento a 90 graus a esquerda, os ventos provindos do quadrante norte provocam um rebaixamento da água próximo à costa, enquanto os ventos do quadrante sul, principalmente provindos de sudeste, causam o efeito contrário empilhando a água na costa (Fernandes *et al.*, 2004).

Assim, a direção da água para costa, em ventos do quadrante sul causando elevação do nível (Castelão & Möller, 2003), pode favorecer a entrada da água salgada na barreira arenosa. Logo, pela proximidade do poço 9 com o mar, a estratégia para verificar o efeito do mar neste poço, foi verificar o comportamento do nível de água subterrânea frente à entrada de vento do quadrante sul. Verificou-se através da análise de variância (ANOVA) que existe diferença no valor médio dos níveis dos

poços nas diferentes direções do vento. Ainda, observa-se que as maiores médias estão associadas aos ventos dos quadrantes sul e oeste (Figura 20).

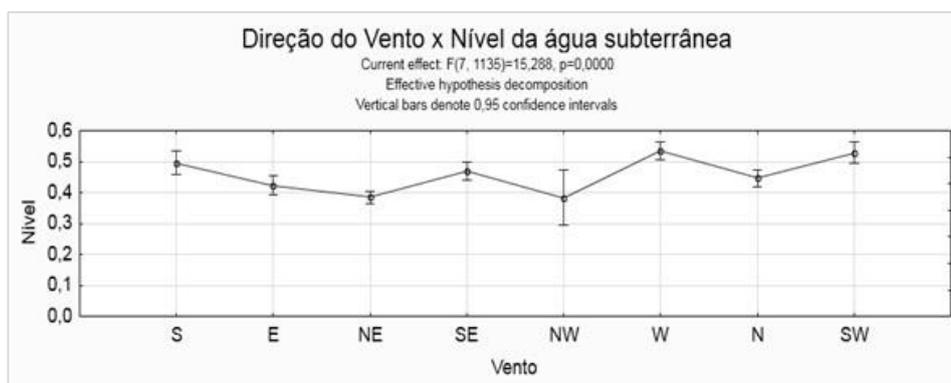


Figura 20 – Análise de variância do nível da água subterrânea no poço 9 conforme as diferentes direções do vento.

Assim, verifica-se que o poço próximo à costa está associado à variação do nível do mar, pois a entrada de vento do quadrante sul causa o empilhamento da água na costa e por conseguinte a entrada de água salgada na barreira. Na Figura 21 são exibidos períodos de ventos do quadrante sul de alta intensidade, assim como a variação do nível da água subterrânea.

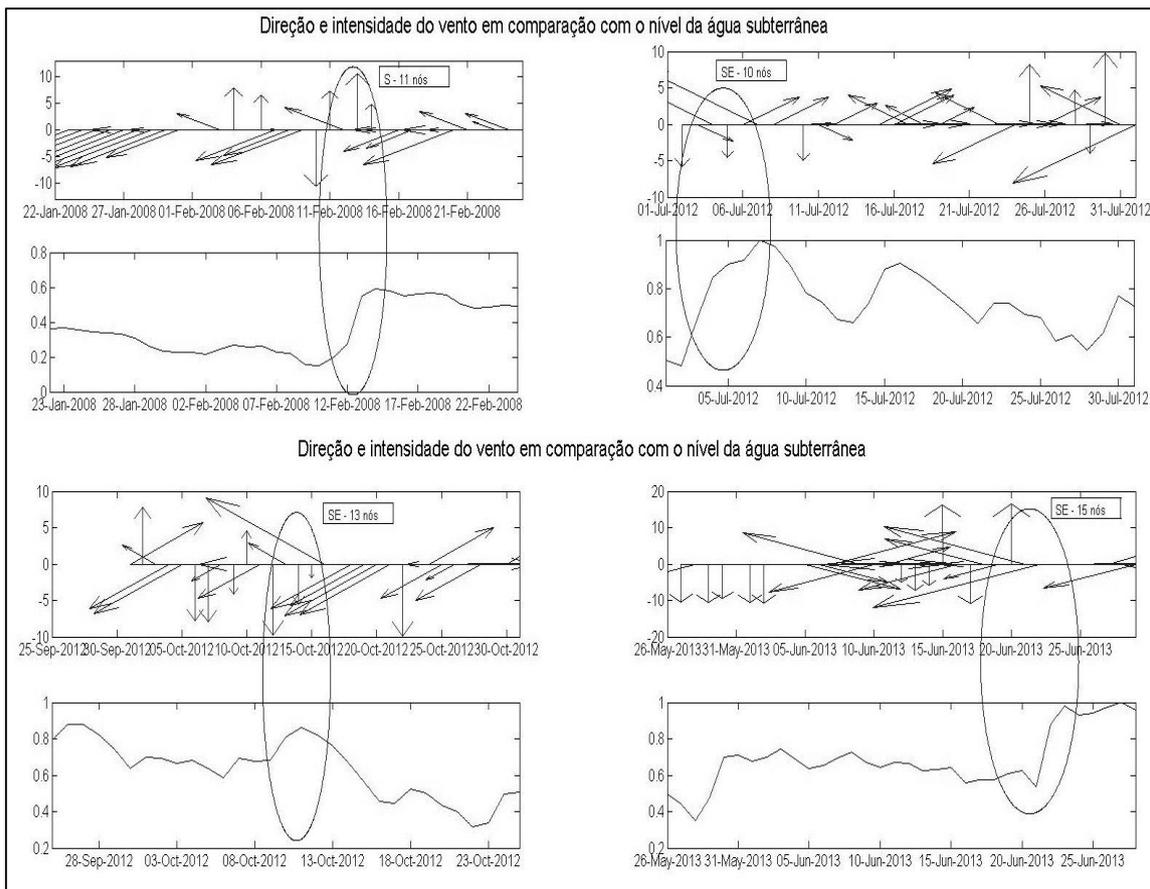


Figura 21 - Variação do nível da água subterrânea no poço 9 associado a entrada de vento do quadrante sul de alta intensidade

Observa-se pela Figura 21 que a entrada de ventos de alta intensidade provoca o aumento dos níveis do poço 9. Assim, a alta salinidade observada neste poço (Tabela 4) somada a interferência do vento nos níveis de água e à proximidade deste poço com a costa fazem com que o mar exerça maior influência neste poço em comparação com a Lagoa dos Patos. Contudo, a correlação positiva do nível da LP com o nível do poço 9 (Figura 19) faz com que existam determinados cenários em que LP é responsável pela recarga deste aquífero, como é o caso dos períodos em que o nível da LP é maior e assim ocasiona a movimentação da água em direção ao mar pelo gradiente hidráulico.

Já para o poço 3, foi possível realizar a comparação do nível de água do poço com a variação do nível do mar a partir dos dados do sensor de pressão instalado nos molhes (Figura 22). Apesar da distância entre o poço 3 e os Molhes da Barra, observa-se que os dados tiveram correlação positiva e moderada ($r = 0,52$).

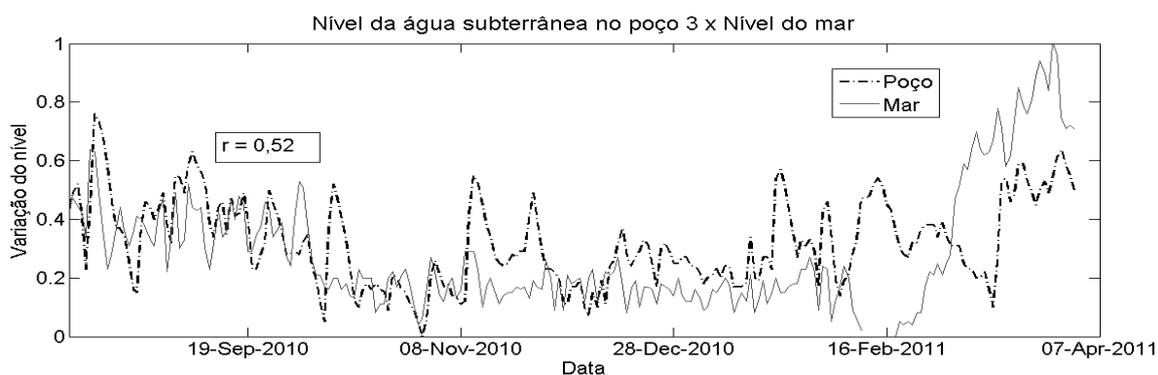


Figura 22 - Nível da água subterrânea no poço 3 e variação do nível do mar.

A célula norte da LP é fortemente influenciada pela vazão do rio Jacuí, portanto em períodos de alta vazão o nível dessa região aumenta e conseqüentemente faz com que ocorra maior movimento de água em direção a barreira. Nestes períodos a LP poderá exercer maior influência no aquífero costeiro. Por outro lado, o mar interfere na variação do nível da água subterrânea nesta região e esse balanço faz com que tanto os dados de nível da LP com os do mar apresentem boa correlação com o nível de água deste poço.

Portanto observa-se que a barreira é um sistema dinâmico e a maioria dos aquíferos apresentam ligações entre si através dos fluxos subterrâneos. Assim, a LP, foi a variável de maior influência nos aquíferos enquanto as demais variáveis representam fatores que atenuam ou mascaram a influência da lagoa no sistema.

3.1 Intrusão salina no aquífero costeiro

Para o estudo da dinâmica e do fluxo de água subterrânea utilizou-se os dados de nível de água dos poços permanentes localizados ao longo da barreira arenosa. Entretanto, para verificar a ocorrência de intrusão de água marinha no aquífero costeiro construiu-se poços piezométricos na Praia do Cassino (Figura 23).

Primeiramente foi construído um poço piezométrico na região próxima ao 'Riacho do Gelo' em outubro de 2014 com profundidade de 1 m. Os poços seguintes foram construídos em frente à Estação Marinha de Aquacultura da FURG (EMA) e foram feitos em março-2015, abril-2015, junho-2015 possuindo profundidades de 0,5 e 1 metros.

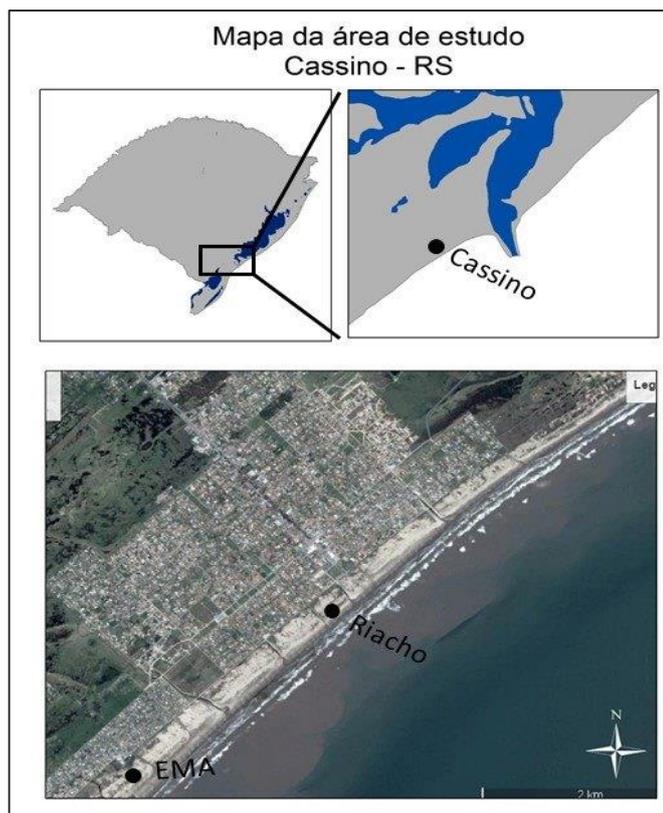


Figura 23 - Localização dos poços piezométricos realizados - EMA e Riacho

A metodologia adotada foi o monitoramento da salinidade da água subterrânea em um período de entrada de frente (ventos maiores que 20 nós do quadrante sul) em um intervalo de tempo de 48 horas. Estes parâmetros foram utilizados pelo fato de que ventos da direção sudeste (SE) ocasionam o empilhamento do nível de água do mar na costa, enquanto ventos da direção nordeste (NE) causam o rebaixamento do nível da água do mar (Möller, *et al.*, 2001).

A saída de Outubro-2014 foi feita no ponto referente ao Riacho (Figura 23) e não houve variação da salinidade ao longo do tempo (48 horas de monitoramento). A não variação da salinidade durante monitoramento foi atribuída à grande quantidade de lama presente nessa região durante o período analisado. A lama gera bolsões de água, pois os sedimentos finos são compactos e menos permeáveis fazendo com que o tempo de residência da água seja alto e evitando que ocorra a percolação de água entre os sedimentos.

Os poços das campanhas seguintes foram realizados na região da praia em frente à EMA (Figura 23), visto que nessa região não havia presença de lama na superfície. Nessa localização o monitoramento foi feito em Março e Abril de 2015, não sendo verificada novamente nenhuma variação de salinidade durante a entrada da frente.

O monitoramento de Junho de 2015 incluiu, além da profundidade de 1 m, a profundidade de 0,5 m para averiguar se ocorria diferença na região mais próxima à superfície. Além disso, aumentou-se também a quantidade de poços construídos (12 poços), formando um transecto das dunas até a região de espraiamento para a verificação da intrusão salina de uma forma mais eficiente.

Os valores de salinidade obtidos durante o monitoramento são mostrados na Figura 24. A Tabela 7 mostra a variação do vento durante a realização do monitoramento da salinidade na campanha de Junho de 2015.

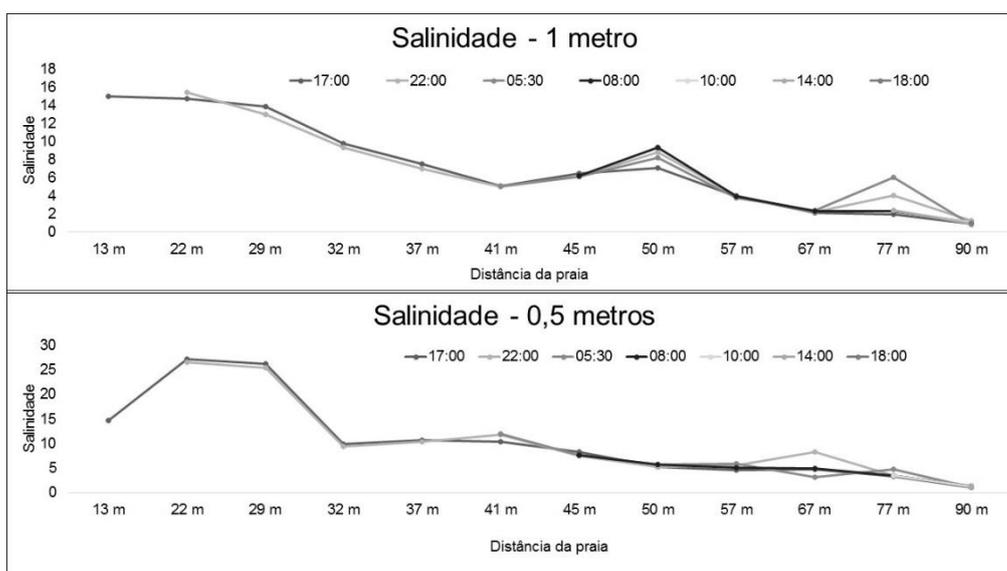


Figura 24 - Perfil de salinidade obtido do monitoramento da salinidade quando ocorrência de frente

Tabela 7 - Variação da direção do vento durante o monitoramento da salinidade da Figura 26

Horário	Direção	Intensidade (nós)
17:00	WSW	1
22:00	SWS	1
05:30	SW	24
08:00	SW	26
10:00	SW	26
14:00	S	20
18:00	NW	6

A Figura 24 mostra que a salinidade não apresentou diferença ao longo da entrada da frente em nenhum dos poços realizados ao longo da praia. Ávila (2012)

realizou um monitoramento semelhante na mesma região de estudo, porém durante um período mais longo (englobando a passagem de 11 frente frias) não havendo detectado fluxos na direção mar-continente. A variação de nível da água subterrânea no tempo monitorado ocorreu apenas em períodos de precipitações pluviométricas elevadas. Portanto, sugere-se que a presença de lama na região em estudo é a principal responsável pela não variação da salinidade ao longo do tempo.

Além disso, mesmo sem a presença de lama superficial na região da EMA, no momento da construção dos poços observou-se diferentes camadas de solo ao longo do perfil. Na maioria dos poços havia uma espessura de lama. (Figura 25). A lama possui baixa condutividade hidráulica que dificulta a percolação da água no sedimento. Isso se dá devido ao seu alto poder de coesão gerando bolsões de água com alto tempo de residência e, conseqüentemente a não renovação da água no local.



Figura 25 - Poço piezométrico realizado em frente a EMA no monitoramento de Junho-2015

Diversos autores mostram que as mudanças do nível do mar afetam fortemente os estuários subterrâneos frente a mudanças meteorológicas, principalmente em relação à maré (Moore, 1999; Austim, *et al.*, 2013; Werner *et al.*, 2003). Por não terem sido observadas alterações nos valores de salinidade a água subterrânea na região em estudo sugere-se que o monitoramento da salinidade no aquífero costeiro apresente maior acurácia quando realizado em uma região onde não haja interferência de lama.

4. CONCLUSÃO

- Os poços que possuem as profundidades de 10m e 15m (poço 4, 6 e 9) apresentaram semelhança no comportamento do nível de água subterrânea, sugerindo que o aquífero superficial atinge profundidades de 15 m.
- A célula central mostrou-se interligada, com o nível da água subterrânea semelhante em todas as regiões.
- Comparando o nível dos poços com o nível da Lagoa dos Patos observamos que os poços próximos a ela recebem sua influência, devido à forte correlação (0,83 e 0,74 para o poço 7 e 4, respectivamente), e o tempo de resposta do nível de água do poço em relação a LP ser de menos de 24 horas.
- A Lagoa dos Patos é a principal fonte de recarga desse sistema, porém essa influência varia conforme o período, a maior relação ocorre em períodos de maior nível da LP.
- Para os poços próximos do mar a correlação não foi boa, mostrando que existem outras forçantes influenciando-os, por exemplo a variação do nível do mar.
- Não foi possível verificar a intrusão salina no aquífero costeiro na região da praia do Cassino, sugerindo que outra área, longe da influência do despejo da lama pela lagoa, seja mais adequada para a realização desse estudo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATISSANO, K.K.; NIENCHESKI, L.F.H.; MILANI, I.C.B.; MACHADO, C.S.; MILANI, M.R.; ZARZUR, S.; ANDRADE, C.F.F. Evidences of continental groundwater inputs to the shelf zone in Alabardão, RS. **Brazilian journal oceanography**. V. 56(1), p. 198-200, 2008.

AUSTIM, M.J.; MASSELINK, G.; McCALL, R.T.; POATE, T.G. Groundwater dynamics in coastal gravel barriers backed by freshwater lagoons and the potential for saline intrusion: Two cases from the UK. **Journal of Marine Systems**. v.123-124, pg. 19-32, 2013.

AVILA, C.L. Estudo do comportamento do fluxo subterrâneo, sua interação com a intrusão salina e com os fenômenos atmosféricos típicos da região – Aplicação à praia

do Cassino, Brasil. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 86 p., 2012.

BOCANEGRA, E.; SILVA JUNIOR, G.C.; CUSTODIO, E.; MANZANO, M.; MONTENEGRO, S. State of knowledge of coastal aquifer management in South América. **Hydrogeology Journal**. v. 18 (1): 261-267, 2010.

BRATTON, J.F. The three scales of submarine groundwater flow and discharge across passive continental margins. **Journal of geology**. v.188, p.565-575, 2010.

CASTELÃO, R.M.; MÖLLER JUNIOR, O.O. Sobre a circulação tridimensional forçada por ventos na Lagoa os Patos. *Atlântica*, v. 25(2), p.91-106, 2003.

CLEARLY, R.W. **Águas subterrânea**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, 1989.

CUNHA, N. G. da. **Caracterização dos solos de São José do Norte, Tavares e Mostardas - RS**. Pelotas, RS: EMBRAPA/CPACT, Ed. UFPel, 1997. 47 p. il. (Documentos CPACT; 7/94) 2ª edição.

DILLEMBURG, S.R.; ROY, P.S.; COWELL, P.J.; TOMAZELLI, L.J. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the shoreface translation-barrier model (STM). **Journal of coastal research**, v.16 (1), p. 71-81, Royal Palm Beach (Flórida), 2000.

FERNANDES, E. H. L.; DYER, K. D.; MOLLER, O. O. Spatial gradients in the flow of southern Patos Lagoon. **Journal of Coastal Research** v. 20, pg. 102-112, 2004.

FIGUEIREDO, S.A.; CALLIARI, L.J.; Sangradouros: Distribuição espacial, variação sazonal, padrões morfológicos e implicações de gerenciamento costeiro. *Gravel*. v. 3, p. 47-57, 2005.

MACHADO, C.S.; NIENCHESKI, L..F.H.; ATISSANO, K. A Lagoa dos Patos como recarga de um aquífero freático costeiro. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Oceanografia, São Paulo, 2006.

MÖLLER JUNIOR, O.O., LORENZETTI, J.A., STECH, J.L., MATA, M.M. The Patos Lagoon summertime circulation and dynamics. **Continental shelf research**. v. 16, n. 3, p. 335-351, 1996

MÖLLER, O. O., P. CASTAING, J-C. SALOMON e P. LAZURE. The influence of local and non-local forcing effects on the subtidal circulation of Patos Lagoon. **Estuaries**, 24(2),297-311, 2001.

MOORE, W.S., 1999. The subterranean estuary: a reaction zone of groundwater and seawater. **Marine Chemistry**, 65: 111-126..

NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A; **Hidrologia estatística**. CPRM, Belo Horizonte, 2007.

NIENCHESKI, L. F. H., H. L. WINDOM, W. S. MOORE; JANHNKE, R.A. Submarine groundwater discharge of nutrients to the ocean along a coastal lagoon barrier, Southern Brazil. **Marine Chemistry**. V.106, p. 546-561, 2007.

TRAUTH, M.H. **MATLAB Recipes for Earth sciences**. 3rd ed.Springer, Berlin, 2010.

TOMAZELLI, L.J.; VILLWOCK, J.A. Mapeamento Geológico de Planícies costeiras: O exemplo da costa do Rio Grande do Sul. **Gravel**. v.3, pg. 109-115, 2005.

VILLWOCK, J.A. Geology of the coastal province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. **Pesquisas**, 16:5-49, 1986

WERNER, A. D. E LOCKINGTON, D. A. Influence of hysteresis on tidal capillary fringe dynamics in a well-sorted sand. **Advances in Water Resources**. v. 26. p. 1199-1204, 2003.

WINDOM, H., & NIENCHESKI, F. Biogeochemical processes in a freshwater seawater-mixing zone in permeable sediments along the coast of Southern Brazil. **Marine Chemistry**, v.83 (3-4) pg. 121-130., 2003

WINTER, T.C. Relation of streams, lakes and wetlands to groundwater flow systems. **Hidrogeology Journal**. v.7, p. 28-45, 1999.

CAPITULO 3 - CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA NO SISTEMA DEPOSICIONAL DO RIO GRANDE DO SUL

RESUMO

Nas águas subterrâneas da barreira arenosa entre a Lagoa dos Patos (LP) e o Oceano Atlântico ocorre um mecanismo hidrodinâmico mais intenso do que observado em outros aquíferos, isto se dá devido à proximidade da LP, que serve como recarga e devido a presença de sedimentos arenosos. O fluxo de água subterrânea desta região foi determinado a partir dos valores de condutividade hidráulica (K) obtidos em campo. A metodologia da determinação de K foi baseada no método de "Slug test", o qual consiste em modificar a coluna da água e medir as variações de carga de pressão em função do tempo. Para o cálculo do K utilizou-se o método de Hvorslev e para obtenção do fluxo foi aplicada a Lei de Darcy. Os valores de K variaram de 23,2 a 175 m. dia⁻¹. Apesar da variabilidade pode-se perceber que na região norte da barreira os valores de K no aquífero superficial (5 e 10 metros) chegaram a 175 m.dia⁻¹ enquanto na profundidade de 15 metros o valor máximo foi de 75 m.dia⁻¹. A maior condutividade hidráulica no aquífero superficial e o gradiente hidráulico dessa região implicam na influência da Lagoa dos Patos na recarga desse aquífero. As diferentes formações geológicas da barreira foram responsáveis pela diferença de valores entre os poços marginais (oceano e lagoa). Poços próximos ao mar tiveram valores de K variando de 75 a 117 m.dia⁻¹ enquanto que os poços próximos a lagoa variaram de 15 a 31 m.dia⁻¹. O fluxo subterrâneo obtido foi de 4,29.10⁷ m³.dia⁻¹ e 4,08.10⁷ m³.dia⁻¹ para as células norte e sul respectivamente.

PALAVRAS CHAVES: método "Slug test". Lei de Darcy. Fluxo Subterrâneo.

ABSTRACT

The groundwater flux in the sand barrier that separates the Patos Lagoon from the Atlantic Ocean was determined through hydraulic conductivity values (K) obtained in the field. The methodology of K determination was based on the "Slug test" method that consist in the modification of the water column and measurement of the variations of pressure load a function of time. The Hvorslev method was udes for the calculation of K and then the flux was obtained from the application of Darcy Law. The K value varied between 23,2 and 175 m.day⁻¹. In spite of the variability it can be observed that in the northern region of the barrier the K value obtained from the superficial aquifer (5 and 10 meters) reached 175 m.day⁻¹ while in the depth of 15 meters the maximum value was 75 m.day⁻¹. The greater hydraulic conductivity in the superficial aquifer and the hydraulic gradient imply that the Patos Lagoon exerts influence on the recharge os this aquifer. The different geological formations of the barrier were responsible for the different K vlues between marginal wells (ocean – lagoon). Wells near the ocean had K values ranging from 75 to 117 m.day⁻¹ while the wells near the lagoon range from 15 to 31 m.day⁻¹. The subterranean flux obtained was of 4.29.10⁷ m³. day⁻¹ and

4,08.10⁷.m³.day⁻¹for the northern and southern regions respectively. This value is similar to those obtained through of radioisotopes (3,1.10⁷ m³.day⁻¹).

KEYWORDS: Slug test method. Darcy Law. Subterranean flux.

1. INTRODUÇÃO

A Lagoa dos Patos ao longo da costa sul do Brasil, é separada do Oceano Atlântico por um cordão arenoso, o qual apresenta uma configuração de relevo típica. Este relevo é composto por uma sucessão de diversos níveis sedimentares distintos, com composição granulométrica própria, que pouco varia (Cunha, 1997). Na sua maioria é formado por sedimentos permeáveis que facilitam o fluxo de água subterrânea.

Diversos termos e unidades foram propostos para diferenciar e quantificar os distintos sistemas de fluxos de um aquífero. Isso inclui fluxo de água doce, recirculação de água salina e fluxo de água salina. Burnett & Dulaiova (2003) definiram que qualquer e todo fluxo de águas nas margens continentais para o oceano independente do fluido ou da força motriz como sendo “Descarga de água subterrânea”

As considerações sobre diferenças espaciais e escalas de água subterrânea facilitam o entendimento de importantes aspectos de hidrogeologia, incluindo a interação de fluxos submarinos com a água da superfície (Bratton, 2010). Porém é impossível encontrar uma solução exata da equação que governa o fluxo subterrâneo. Essa dificuldade é contornada pela adoção de valores médios das variáveis hidráulicas e das propriedades do meio (Caicedo, 2007).

Experimentalmente, Darcy em 1850, verificou como diversos fatores geométricos influenciam a vazão da água, formulando a chamada Lei de Darcy. Expressando a equação, que ficou conhecida pelo seu nome,

$$Q = K \times \frac{h}{L} \times A$$

Onde, Q é a vazão (fluxo transmitido por unidade de tempo), K é uma constante para cada solo (coeficiente de permeabilidade ou condutividade hidráulica); h/L o gradiente hidráulico, ou variação da pressão (sendo h a carga que se dissipa na percolação e L a distância ao longo da qual a carga se dissipa); e A a área da secção (Todd, 1959).

Quando se trata de poços permanentes, os quais são feitos para monitorar o nível de água e realizar amostragens de qualidade dessa água, existe um conveniente método para determinação de condutividade hidráulica que é denominado de “Hvorslev slug-test method” descrito em Fetter (2001). A associação da determinação

da condutividade hidráulica em campo e o cálculo da Lei de Darcy podem ser aplicados para a obtenção das estimativas de fluxo subterrâneo, se tornando um método rápido e de baixo custo (Andrade, *et al.*, 2008).

Diversos estudos já foram realizados nesta barreira arenosa, tanto em relação ao nível do aquífero, como no âmbito biogeoquímico, a partir do fluxo de nutrientes e metais (e.g. Niencheski, *et al.*, 2007; Windom & Niencheski 2003; Windom, *et al.*, 2006; Niencheski & Windom, 2014). Porém, há ainda um déficit no conhecimento das taxas de recarga do aquífero, bem como de sua permeabilidade. Portanto, este capítulo tem como objetivo identificar a condutividade hidráulica a partir da metodologia de “*Slug test*” em poços permanentes instalados ao longo do cordão arenoso seguido do cálculo do fluxo de água subterrânea nessa região através da aplicação da Lei de Darcy.

2. METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

O seguinte estudo foi realizado em poços permanentes situados ao longo da barreira arenosa que separa a Lagoa dos Patos do Oceano Atlântico (Figura 10 – Capítulo 2). A célula norte é representada pelo poço 1, 2 nas profundidades de 10 e 15 metros e o poço 3 nas profundidades de 5, 10 e 15 metros. Poço 4 nas profundidades de 5, 10 e 15 metros e poço 5 nas profundidades de 10 e 15 metros representando a célula central. E a célula sul é representada pelo poço 7 de 15 metros de profundidade e pelo poço 9 nas profundidades de 11, 15 e 27 metros. Totalizando 16 poços, onde foi aplicado o teste.

2.2 Métodos de análise

Para determinar a condutividade hidráulica (K) foram realizados testes ‘*slug test*’ nos poços permanentes situados neste local (Figura 10 – Capítulo 2). O levantamento de campo foi realizado entre os dias 16 a 23 de Abril de 2014.

A metodologia consiste em modificar a coluna da água em um intervalo pequeno de tempo e monitorar o nível da água até ao seu retorno ao nível inicial. Para a alteração do nível de água introduziu-se de forma repentina um material sólido de volume definido (0,5 dm³), o qual foi feito por um cano de PVC preenchido de areia. Este sólido provoca uma elevação instantânea do nível da água. Enquanto o nível de água retorna ao nível estático, as variações de carga de pressão são medidas em função do tempo.

Para armazenar os dados durante o teste, foi utilizado um sensor HOBO® Data Loggers (<http://www.sigmasensors.com.br/>) (Figura 26). Estes sensores medem com alta precisão a pressão da coluna da água no interior do poço de monitoramento a cada segundo.

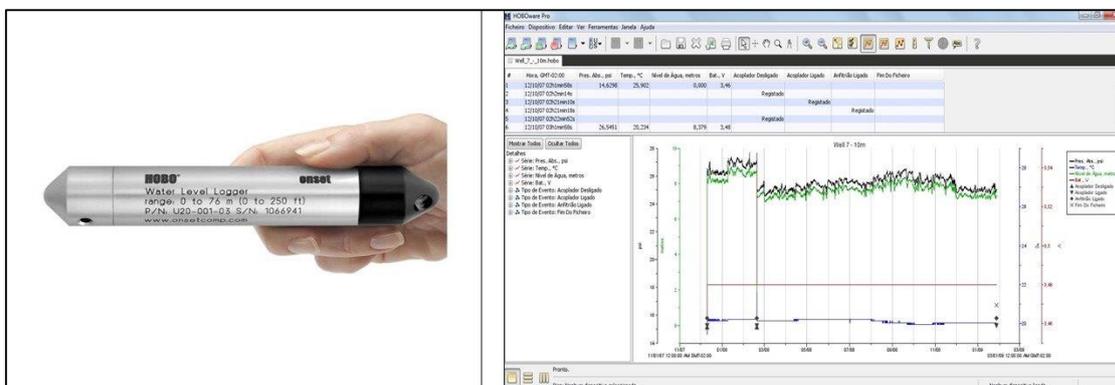


Figura 26 - Sensor HOBO utilizado para medir a pressão da coluna da água e a interface do software HOBOWare utilizado para processar os dados

Após o teste de campo os dados foram descarregados no software HOBOWare® Pro, destinado a leitura de dispositivos HOBO® (Figura 26). O resultado que o programa mostra é a posição do nível da água em uma curva de rebaixamento ou recuperação do nível da água versus o tempo. A condutividade hidráulica foi modelada de acordo com o método de Hvorslev, detalhado em Fetter (2001), indicado para poços permanentes não confinados onde o comprimento do poço é muito maior que o raio.

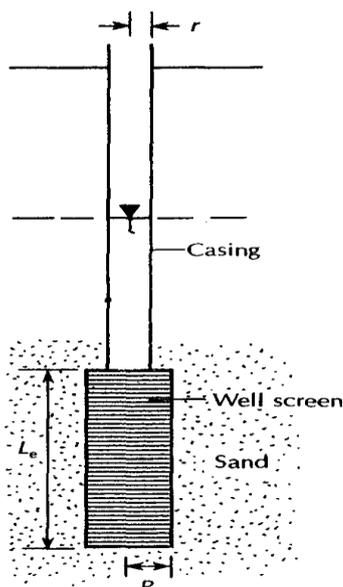


Figura 27- Representação de um poço permanente. Fonte: Fetter, 2001

A condutividade hidráulica é calculada em função do raio do poço, comprimento da ponteira, e do tempo requerido para o nível da água atingir 37% do seu valor inicial após inserção do “slug”. O valor de t_{37} (Tabela 8) é encontrado a partir de cálculos com os valores obtidos da curva exibida pelo HOBOWare® Pro. A equação de Hvorslev é a seguinte:

$$K = \frac{r^2 \ln\left(\frac{L_e}{R}\right)}{2 * L_e t_{37}} \quad (7)$$

Onde:

K – é a condutividade hidráulica (cm/s)

r – Raio da ponteira (cm)

R – Raio do Poço (cm)

Le – Comprimento da parte do poço exposta ao aquífero (cm)

t_{37} – Tempo que o nível demora para retornar 37% do nível inicial (s)

No presente estudo as variáveis da equação acima possuem os seguintes valores:

r = 2 cm	}	Propriedades física dos poços permanentes
R = 2 cm		
Le = 10 cm		

t_{37} – Obtido de 3 a 5 vezes, através do *slug test* feito em cada poço durante a saída a campo, portanto esse valor se difere para cada poço. Valores e suas médias são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores obtidos de t_{37} (segundos) para os poços

Poço	t(37) 1	t(37) 2	t(37) 3	t(37) 4	t(37) 5	Média
1 10 m	2,58	18	9	32		5,79
1 15 m	6	9	10	9		9
2 10 m	2,8	11	2,3	33	7	2,8
2 15 m	3,82	8,33	24,5	13	1,9	10,67
3 5 m	1,94	2,9	2,86	1,8	9	2,4
3 10 m	2,31	3,57	2,37	1,65		2,34
3 15 m	2	4,5	6	2,93		3,715
4 5 m	12,67	12	11,5	10	12,75	12
4 10 m	3	4,9	4,29	8,67		4,29
4 15 m	1,77	1,8	1,47			1,77
5 10 m	2,88	4,67	8	7,67	3,67	3,67
5 15 m	2,74	2,96	2,78	2,8	2,62	2,78
7 15 m	5,9	1,9	4,7	3,46		3,46
9 11 m	5,5	9	4,33	3,67	2,97	4
9 15 m	11	13	8	10	15	11

9 27 m 2,83 1,82 2,56 3,67 7,33 2,695

*Os valores mais claros foram tratados com "outliers".

Para a aplicação da Lei de Darcy, utilizou-se uma fórmula simplificada envolvendo a condutividade hidráulica, a diferença entre níveis de água dos dois pontos e a distância entre eles (Todd, 1959), equação abaixo:

$$Q = K * A * \frac{(h_1 - h_2)}{L} \quad (8)$$

Onde:

K= condutividade hidráulica, obtida para cada poço pela equação 7 (m.dia⁻¹).

A= área total de advecção. (m²)

h1 = altimetria do poço (Tabela 10)– profundidade do poço (Tabela 9) (m)

h2 = nível do mar (pois o cálculo será feito a partir do poço até o mar) (m)

L= distância do poço até o mar (m)

A diferença de altura piezométrica (h1-h2) deve ser sempre igual a diferença de elevação do nível de água nos poços ou no caso de escoamento para o mar ou a lagoa o nível destes dois sistemas.

Os dados de profundidade dos poços, os quais foram obtidos também na saída a campo são mostrados na tabela abaixo (Tabela 9).

Tabela 9 -Valores de profundidade dos poços

Poço	Profundidade (m)
1_10m	0,57
1_15m	0,63
2_10m	1,35
2_15	1,2
3_5m	0,25
3_10m	0,3
3_15m	0,3
7_15m	0,15
9_11m	1,05
9_15m	1,1
9_27m	1,1

Dados topográficos dos poços também foram utilizados. A altimetria dos poços é apresentada na Tabela 10.

Tabela 10 - Altimetria dos poços em estudo. FONTE: Obtido pelo Prof. Glauber Acunha Gonçalves (Centro de ciências computacionais - FURG)

Poço	Altimetria (m)
1	2
2	13
3	2
4	1,88
5	1,88
6	5
7	3,6
8	8,93
9	3,66

3. RESULTADO E DISCUSSÕES

Os valores de condutividade hidráulica (K) mostram que a permeabilidade da barreira é muito variada (Tabela 11). O valor mínimo de K foi de 23,2 m.dia⁻¹ no poço 4, à 5 metros e o máximo foi de 157 m.dia⁻¹ no poço 4, à 15 metros.

Tabela 11 - Valores de condutividade hidráulica encontrado para os poços situados na barreira arenosa

Região	Poço	K cm/s	K m/dia
Célula Norte	1 10 m	0,06	48,03
	1 15 m	0,04	30,90
	2 10 m	0,11	99,33
	2 15 m	0,03	26,08
	3 5 m	0,13	115,88
	3 10 m	0,14	118,85
	3 15 m	0,09	74,86
	4 5 m	0,03	23,18
Célula Central	4 10 m	0,08	64,83
	4 15 m	0,18	157,12
	5 10 m	0,09	75,78
	5 15 m	0,12	100,04
Célula Sul	7 15 m	0,09	80,38
	9 11 m	0,08	69,53
	9 15 m	0,03	25,28
	9 27 m	0,12	103,20

Devido às limitações deste teste, onde a condutividade hidráulica encontrada representa apenas a área circundante ao poço, a alta variabilidade dos valores de K encontrados na barreira em estudo podem estar associadas aos diferentes estágios morfodinâmicos da herança geológica da planície costeira do RS (Pereira, 2005). Entre o mar e os sedimentos pleistocênicos da Barreira III (Região da Lagoa dos Patos) são sendo depositados sedimentos arenosos, argilosos ou orgânicos bem diferenciados

(Cunha, 1997). Assim, estudos teóricos sobre fluxo subterrâneo bidimensional realizado por Tóth (1963) indicaram que sistemas de fluxos locais e regionais podem ser sobrepostos uns aos outros em um sistema de aquíferos de diferentes geomorfologias.

Mesmo com a alta variabilidade dos valores de K e, conseqüentemente, as diferentes morfologias ao longo da barreira, foi possível relacionar os valores de K com o tipo predominante de granulometria dos sedimentos locais. A Figura 28 mostra um gráfico com a classificação do sedimento quanto à litologia e suas referidas condutividades hidráulicas. A média do valor de condutividade hidráulica encontrada para a barreira arenosa foi de $0,09 \text{ cm.s}^{-1}$ ($9.10^{-2} \text{ cm.s}^{-1}$), sendo definida, conforme a classificação proposta, como areia pura.

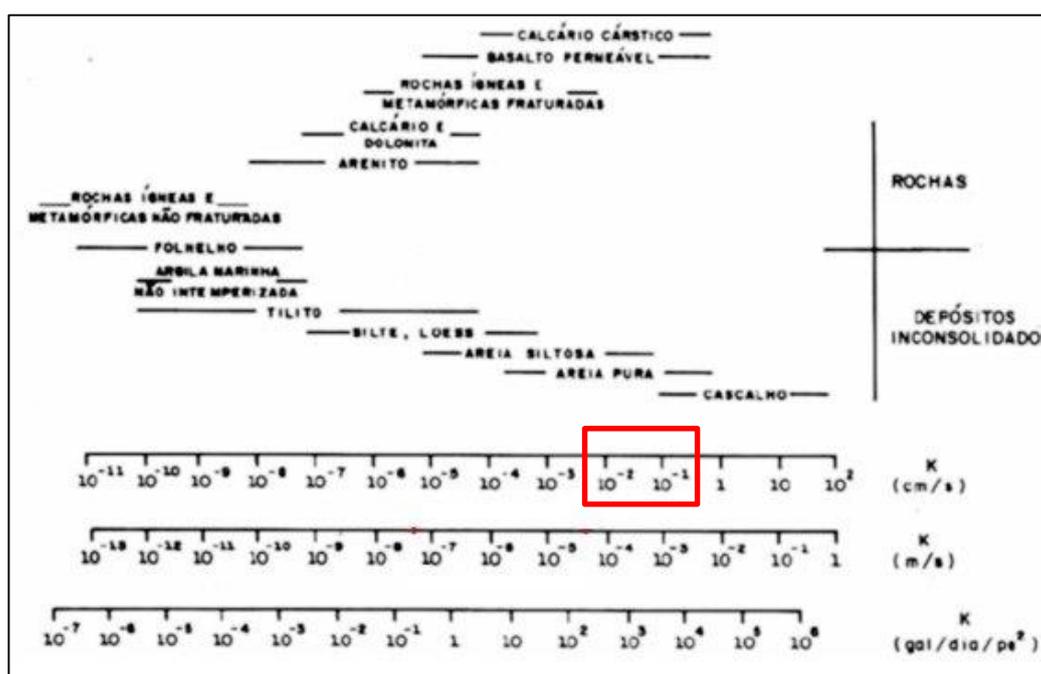


Figura 28 - Variações dos valores de condutividades hidráulicas de acordo com a litologia em vermelho o valor encontrado no presente estudo. FONTE: Freeze e Cherry (1979)

Pereira (2005) avaliou a permeabilidade das praias da costa do Rio Grande do sul, na região de berna e pós praia. Os valores por ele encontrados variaram de 1 a $6.10^{-3} \text{ cm.s}^{-1}$. Em comparação com os resultados deste trabalho observa-se que na região da restinga a permeabilidade do solo é maior, pois os valores apresentaram grandeza superior (10^{-1} a 10^{-2}).

Essa diferença pode estar associada além da granulometria local, à saturação que a região próxima à costa sofre devido a ação das ondas. McLachlan (1989) verificou que grandes volumes de água podem ser filtrados pelas praias arenosas e

que praias com baixa de declividade e com pequeno tamanho de grão (dissipativas), o caso da costa do RS, apresentam baixa capacidade de infiltração pelo alto tempo de residência da água. Na barreira arenosa, Windom *et al.* (2006) encontraram um tempo de residência da água de 8,3 dias, através de cálculos por radioisótopos. Esse tempo é considerado curto, uma vez que na literatura encontra-se valores para tempo de residência em aquíferos que variam de duas semanas até 10.000 anos (Thomaz, 2011). Com isso, o baixo tempo de residência juntamente com a altos valores de K, mostram que a barreira apresenta alta capacidade de percolação de água através de seus sedimentos.

Em direção ao sul da costa do RS, na região da Lagoa Mangureira, Andrade *et al.* (2008) realizaram o mesmo teste na barreira que separa a lagoa do Oceano Atlântico, sendo encontrado o valor de 12 m.dia⁻¹. Associando o valor de K com a boa correlação entre o nível da água subterrânea e da Lagoa Mangureira foi indicado que nesta região ocorre uma forte percolação da água da lagoa em direção a barreira, conferindo uma boa relação com o nível de água do aquífero superficial.

Apesar da alta variabilidade dos dados, os valores de K nas profundidades à 5 e 10 metros foram semelhantes entre si (Tabela 11), e diferentes da profundidade à 15 metros, resultado dos diferentes estágios morfodinâmicos ao longo da profundidade da barreira, o qual interferem no fluxo de água conforme o tipo de sedimentos.

Com base na célula norte, observa-se que os valores de K na profundidade à 5 e 10 metros chegaram a 117 m.dia⁻¹. A célula norte apresenta alto gradiente hidráulico em consequência do maior nível da LP nesta região em relação ao nível do mar. Assim, considerando-se a influência da LP na barreira arenosa (Capítulo 2), o gradiente hidráulico da região, pode se dizer que na região superficial (5-10m) ocorre maior recarga do aquífero a partir da água advinda da LP em comparação com a profundidade à 15 metros, em que o K máximo foi de 75 m.dia⁻¹. Nesta profundidade a LP não é a principal responsável pela recarga, fenômeno observado no Capítulo 2, em que o nível dos poços 2 e 3, na profundidade de 15 metros não apresentaram boa correlação com a LP (Figura 17– Capítulo 2).

Ainda na célula norte, foi possível perceber que os valores de K próximos a lagoa foram inferiores (15 a 31 m.dia⁻¹) aos valores dos poços próximos ao mar (75 a 117 m.dia⁻¹). Isso ocorre porque, além do gradiente hidráulico alto desta região existe uma diferença geológica entre esses dois locais. De acordo com Villwock e Tomazelli (2007) a planície costeira do Rio Grande do Sul se desenvolveu, basicamente, a partir do sistema deposicional tipo laguna-barreira. Na região onde está situado o poço 3, os sedimentos são predominantemente, praias e eólicos, com maior porosidade e assim

maior espaço para a passagem da água, consequência do último sistema deposicional (laguna-barreira 4), no holoceno.

Próximo à Lagoa do Patos o ambiente é caracterizado por sedimentos de granulometria média a fina, semi-consolidados e de elevado conteúdo de argila, oriundos do sistema lagunar, em que os espaços vazios entre os grãos são pequenos e dificultam a passagem de água (Cunha, 1997; Villwock & Tomazelli 2007;).

Na célula central o resultado foi contrário ao da célula norte, em que os poços com profundidade de 15 metros tiveram valores de K (128 m dia^{-1}). Com exceção do poço 5 na profundidade de 15 metros, os poços da célula central se comportaram de maneira semelhante entre si (Figura 12 – Capítulo 2). Assim, pode-se sugerir que o aquífero superficial dessa região se estende até profundidades maiores, sendo suscetível a recarga principalmente advinda da LP (Figura 12 - Capítulo 2). Os baixos valores encontrados nas profundidades de 5 e 10 metros podem estar associados, além da composição geomorfológica à maior saturação do solo neste local no período da saída a campo.

Em direção ao Sul da barreira (célula Sul) os valores de K foram menores, com valores em torno de 50 m.dia^{-1} . O gradiente hidráulico nesta região diminui e as águas da Lagoa do Patos e do mar entram em equilíbrio. Locais que exibem o potencial para circulação de água a intrusão salina apresenta grande importância, principalmente em barreiras que estão ao lado sistemas lagunares de água doce. Porém a intrusão salina é mais representativa em locais onde a maior parte dos sedimentos é composta por cascalhos ($k \sim 1000 \text{ m dia}^{-1}$) (Austim, *et al.*, 2013).

Por conseguinte, será apresentado também o fluxo de água que ocorre nessa região, através da fórmula da Lei de Darcy que descreve a vazão de água por unidade de tempo a partir dos valores de condutividade hidráulica que foram encontrados. Esse método já foi utilizado para estimar a descarga subterrânea por Austin, *et al.* (2013) em duas barreiras arenosas situadas em Cornwall, UK como também aqui na região por Andrade *et al.* (2008) na barreira arenosa que separa a Lagoa Mangueira do Oceano.

Assim, considerando-se que a água doce da Lagoa dos Patos advecta através da barreira arenosa em resposta à carga hidráulica criada pela lagoa (Windom *et al.*, 2006), os valores de fluxo de água são baseados no fluxo que ocorre dos poços até o mar. Para a determinação do fluxo subterrâneo de água doce na região, levou-se em conta os valores encontrados nos poços 3 e 9, por serem mais próximos ao mar, e juntamente com as dimensões da área em estudo (10 km plataforma adjacente x 240 km de costa). Os valores obtidos constam na Tabela 12.

Tabela 12 - Valores de fluxo obtidos através do cálculo da Lei de Darcy sem consideração do valor da área.

Poço	Distância até o mar (m)	Fluxo (m/dia)
2 (prof. de 10 m)	6500	0,18
2 (prof. de 15 m)	6500	0,05
1 (prof. de 10 m)	7400	0,009
1 (prof. de 15 m)	7400	0,006
3 (prof. de 15 m)	200	1,04
3 (prof. de 5 m)	200	0,63
3 (prof. de 10 m)	200	1,01
7 (prof. de 15 m)	6500	0,04
9 (prof. de 11 m)	1300	0,14
9 (prof. de 15 m)	1300	0,05
9 (prof. de 27 m)	1300	0,2

Os valores de fluxo estimados para toda a extensão da barreira foram de $4,29 \cdot 10^7$ e $4,08 \cdot 10^7$ $\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ a partir dos valores de fluxo da célula norte e sul respectivamente, representando em torno de 20% da descarga superficial através do estuário da LP. O resultado do fluxo encontrado corrobora com o encontrado por Niencheski, *et al.* (2007) medido através de um balanço de sal a partir dos valores de SGD por radioisótopos feito por Windom *et al.* (2006). Naquele estudo, o valor de fluxo de água doce foi de $3,1 \cdot 10^7$ $\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$. Dessa forma, a semelhança entre os resultados mostra a eficácia da Lei de Darcy, no cálculo de fluxo, consistindo em um método rápido e de baixo custo comparando com os métodos tradicionais.

4. CONCLUSÃO

-Os valores de condutividade hidráulica se mostraram bem variados ao longo da barreira. Mesmo com essa variabilidade foi possível classificar o sedimento, conforme o valor de K, como areia.

-As profundidades de 5 - 10 metros e 15 metros apresentaram valores distintos. Na célula norte os maiores valores de K foram encontrados no aquífero superficial. Em função do alto gradiente hidráulico dessa região sugere-se que a LP seja a principal responsável pela recarga desse aquífero.

-As diferentes formações geológicas do cordão arenoso foram a principal resposta para os distintos valores de K encontrados nos poços marginais, com altos valores de K nos poços próximos ao mar em comparação com os poços próximos a Lagoa dos Patos.

- Ficou também demonstrado que é possível avaliar a advecção de água subterrânea usando o método baseado na Lei de Darcy pois os resultados foram semelhantes aos já obtidos para essa região com métodos fazendo uso de radioisótopos.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C.F.F.; MILANI, I.C.B.; ATTISANO, K.K.NIENCHESKI, L.F.H.; SANTOS, I.R.; MILANI, M.R.; PETERSON, R.; BURNETT, W.; PEREIRA, L.C. Aplicação da Lei de Darcy para estimativa da advecção de água subterrânea. **Anais... IV Simpósio Brasileiro de Oceanografia**, São Paulo, 2008.

AUSTIM, M.J.; MASSELINK, G.; McCALL, R.T.; POATE, T.G. Groundwater dynamics in coastal gravel barriers backed by freshwater lagoons and the potential for saline intrusion: Two cases from the UK. **Journal of Marine Systems**. v.123-124, pg. 19-32, 2013.

BRATTON, J.F. The three scales of submarine groundwater flow and discharge across passive continental margins. **The journal of geology**. v. 118, pg. 565-575, 2010.

BURNETT, W.C., & DULAIIOVA, 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.

CAICEDO, N.L. **Água subterrânea. Hidrologia**. Tucci C, E.M. (Org) 2 ed. ABRH. Porto Alegre, 2007.

CUNHA, N. G. **Caracterização dos solos de São José do Norte, Tavares e Mostras - RS**. EMBRAPA/CPACT, Ed. UFPel. Pelotas, RS. (Documentos CPACT; 7/94) 2ª edição, 1997

FREEZE, R.A.; CHERRY, J.A. **Grounwater**. Englewood cliffs: Prentice Hall. 1979

FETTER, C.W. 2001. **Applied Hydrogeology**, 4th ed. New Jersey: Prentice-Hall, 598p, 2001

MACLACHLAN, A. Water filtration by dissipative beaches. **Limnol. Oceanogr.** V. 34(4), pg. 774-780, 1989.

NIENCHESKI, L. F. H., H. L. WINDOM, W. S. MOORE; JANHNKE, R.A. Submarine groundwater discharge of nutrients to the ocean along a coastal lagoon barrier, Southern Brazil. **Marine. Chemistry**. V.106, p. 546-561, 2007.

NIENCHESKI, L.F. & H.L. WINDOM. Chemistry of a Surficial Aquifer of a Large Coastal Lagoon Barrier and its Relation to Adjacent Surface Waters of Brazil. Reference #13-00175, *The Journal of Coastal Research*. In press, 2014.

PEREIRA, P. S. Variabilidade da orla oceânica do Rio Grande do Sul e suas implicações na elaboração de planos de contingência: aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e geomorfológicos. Rio Grande, 2005. 160p. **Dissertação de Mestrado**. Pós-graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, FURG - Fundação Universidade Federal do Rio Grande.

THOMAZ, P. Noções de hidrologia. In: **Noções de Hidrogeologia**. Disponível em <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/livro_infiltracao/capitulo121.pdf> Acessado em 07 de Julho de 2015.

TODD, D.K. **Hidrologia de águas subterrâneas**. Trad. sob direção de Araken Silveira e Evelyn Bloem Souto Silveira. São Paulo, EDGARD. 319p, 1959.

TÓTH J. A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. *J Geophys Res*. v. 68 pg. 4795–4812, 1963.

VILLWOCK, J.A & TOMAZELLI, L.J. Planície Costeira do Rio Grande do Sul: gênese e paisagem atual. In: Becker, F.F.; Ramos, R. A. MOURA, L. A. (Org.). **Biodiversidade. Regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiazais de Tapes, planície costeira do Rio Grande do Sul**. 1ªEd. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/SBF, 2007.

WINDOM, H., & NIENCHESKI, F. Biogeochemical processes in a freshwater seawater-mixing zone in permeable sediments along the coast of Southern Brazil. *Marine Chemistry*, v.83 (3-4) pg. 121-130, 2003

WINDOM, H. L.; MOORE, W. S.; NIENCHESKI, L. F. H. & JAHNKE R. A., 2006. Submarine groundwater discharge: A large, previously unrecognized source of dissolved iron to the South Atlantic Ocean. *Marine Chemistry*, v. 102(3-4) p; 252-266, 2006.

CONCLUSÃO GERAL

- No capítulo 1 foi visto que o Rio Guaíba, representado pelo rio Jacuí é o maior responsável pelo aumento do nível da Lagos dos Patos (LP), principalmente na região norte. O canal São Gonçalo gera grande influência no nível da Lagoa dos Patos na região sul.
- No Capítulo 1 foi visto também que a precipitação local não é significativa nos níveis de água da LP, a maior contribuição da precipitação é referente a que ocorre na bacia de drenagem da Lagoa dos Patos. Ventos de direção do quadrante norte tendem a diminuir o nível na região norte da lagoa e vento do quadrante sul geram um aumento no nível da lagoa na porção sul e norte.
- No Capítulo 2 observa-se que os níveis dos poços de 10 e 15 metros tiveram o mesmo comportamento. A Lagoa dos Patos foi a principal fonte de recarga do aquífero costeiro da região, fenômeno visto principalmente nos poços localizados próximo a ela. As demais forçantes ambientais não apresentaram contribuição direta no nível, elas apenas atenuam ou mascaram a influência da Lagoa dos Patos.
- A intrusão salina não foi detectada na região da Praia do Cassino, devido a influência da Lama nessa região.
- A condutividade hidráulica foi muito variável na região, porém observou-se os maiores valores na região próxima ao mar. Na região norte o aquífero superficial (5-10 metros de profundidade) apresentou maiores valores de condutividade hidráulica.
- Os aquíferos situados na barreira apresentam fortes conexões com a Lagoa dos Patos e com o mar. Além de na sua maioria serem superficiais, ou seja, facilmente atingidos. Portanto, toda possível interferência feita nesse local (e.g. mineração, plantio e extensão imobiliária) deve ser primeiramente avaliada, e a presente análise de dados hidrogeológicos servirá para auxiliar nas futuras tomadas de decisões sobre o uso desta barreira.

APÊNDICE I

Cenário	Poço 4	Poço 5	Poço 6	Poço 7
Período	11/06-17/07/2007	11/06-11/07/2007	06/11-21/07/2007	12/08-11/09/2008
Chuvoso	12/08-12/09/2008	01/11-30/11/2009	13/04-08/06/2008	20/08-08/09/2009
	22/07-22/08/2009	12/09-13/10/2010		02/08-28/08/2011
	23/02-20/03/2007	22/01-24/02/2011		
Período	26/12-27/01/2007	06/03-06/04/2008	01/01-09/02/2007	05/12-28/12/2008
Seco	02/03-05/04/2008	01/03-30/03/2010	12/12-01/02/2008	09/04-11/05/2009
	05/04-05/05/2009	13/10-13/11/2010		21/12-09/01/2011
	26/12-21/01/2011	29/04-28/05/2012		
Alto nível da LP	16/06-17/07/2007	01/07-21/10/2008	30/05-31/07/2007	20/08-28/09/2008
	22/08-28/09/2008	01/09-31/10/2010	18/08-28/09/2008	14/09-17/10/2009
	30/08-20/09/2009	01/10-30/11/2011		04/08-04/09/2011
	06/07-08/08/2012			
Baixo nível da LP	11/03-11/04/2008	01/01-31/01/2007	04/01-03/03/2007	01/03-14/04/2008
	23/01-23/02/2009	01/02-06/07/2009	16/01-03/03/2007	06/12-07/01/2009
	01/01-02/02/2011			24/11-22/12/2011
	14/05-14/06/2012			