

Influência da Lagoa dos Patos sobre a água subterrânea superficial da barreira arenosa que a separa do Oceano Atlântico

Caroline dos S. Machado¹, Luis Felipe H. Niencheski² & Regis S. Pereira³

¹Mestranda do Curso de Engenharia Oceânica – FURG, Rio Grande, RS –
carol_lourencin@yahoo.com.br

²Departamento de Química, Laboratório de Hidroquímica – FURG, Rio Grande, RS –
dqmhidro@furg.br

³Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS, Porto Alegre, RS –
regis.pereira@ufrgs.br

RESUMO: Através de uma série diária de 6 meses, obteve-se uma baixa correlação entre os dados de pressão hidrostática e condutividade medidos na água de um poço subterrâneo na região do Estreito. Dois processos podem estar ocorrendo (água da Lagoa se dirigindo ao mar e água do mar à Lagoa por água subterrânea) refletindo na baixa correlação encontrada. Diminuindo o período de análise para três meses, obteve-se uma melhor correlação (aqui o processo dominante deve corresponder à entrada da água doce da Lagoa no mar), uma vez que foram retirados os meses quentes, onde o nível da Lagoa em geral é mais baixo. Os sensores de pressão hidrostática colocados em poços mais profundos indicaram valores quase constantes ao longo de 3 meses. Dessa forma, a hidrologia desse sistema deve ser influenciada por um outro aquífero não submetido diretamente às forçantes impostas pela Lagoa dos Patos.

PALAVRAS-CHAVE: água subterrânea, transporte, condutividade, pressão, nível da Lagoa dos Patos.

1. INTRODUÇÃO

A Lagoa dos Patos, com 250 km de extensão e largura média de 60 km, é alongada no sentido NE-SW e dispõe-se paralelamente à planície costeira do Rio Grande do Sul. É caracterizada por um fundo relativamente plano, com 6 a 8 metros de profundidade, sendo que as maiores profundidades encontram-se próximas à restinga (margem leste) e estão dispostas paralelamente ao eixo principal da Lagoa, com gradual diminuição da batimetria no sentido noroeste, ref [7].

A costa sul do Brasil é localizada na região de mínima influência de maré, ref [2]. A amplitude média de maré é de 0,47 m e predominantemente semi-diurna. A onda de maré com amplitude de 10,8cm representa a principal componente, ref [7].

Devido à mínima influência de maré astronômica, a circulação da Lagoa dos Patos (saída de água continental e entrada de água marinha através dos Molhes da Barra do Rio Grande) é controlada principalmente pela ação do vento e da chuva (maré meteorológica).

Os regimes de fluxo superficial na Lagoa dos Patos estão relacionados aos desníveis que ocorrem dentro da Lagoa e na zona costeira. Os ventos exercem grande influência sobre as marés e as correntes no sistema lagunar. Ventos de NE tendem a baixar o nível do mar na barra, impelindo as águas da Lagoa para o Canal do Norte e ocasionando o escoamento das mesmas em direção ao mar (regime de vazante). Os ventos de SW e SE, pelo contrário, elevam o nível do mar na barra, impelindo a água do sistema lagunar para o interior e formando uma corrente do mar para a Lagoa (regime de enchente), ref [3].

Além de todo o dinamismo do transporte de água superficial pela boca dos molhes, soma-se a este o transporte subterrâneo, onde sua quantificação é ainda bastante desconhecida, mas que, sem dúvida, acaba por abastecer um importante aquífero costeiro.

Definimos aqui aquíferos costeiros como aqueles situados em planícies próximas ao mar ou grandes lagos salgados. As águas destes aquíferos sofrem influência das águas salgadas, o que lhes confere características bem marcantes. Nestes locais o fluxo subterrâneo de água doce que vem do continente encontra o fluxo subterrâneo de água salgada que está se infiltrando a partir do mar ou do lago. Devido à diferença de densidades entre estes dois tipos de água, ocorre uma estratificação, ficando a água doce por cima e a água salgada por baixo. Estas águas mantêm uma separação razoável, devido ao fato de que ambas estão em um meio poroso, onde a difusão dos solutos é muito lenta. A interface água doce-salgada é, na verdade, uma zona com vários graus de mistura entre as duas águas (Figura 1). A diminuição da coluna de água doce permitirá que a água salgada suba, de forma a equilibrar a pressão entre as duas, ref [11].

Tendo em vista que, nos municípios de São José do Norte, Tavares e Mostardas, localizados no cordão arenoso que separa a Lagoa dos Patos do Oceano Atlântico, o abastecimento de água à população é efetuado através de poços, o bombeamento contínuo da água dos poços pode resultar em alterações de sua qualidade. Por exemplo, se o bombeamento durar muito tempo ocorrerá uma intrusão da água salgada que contaminará o aquífero. Os fatores envolvidos na contaminação pela água salgada são: a) distância do fundo do poço com a interface água doce-salgada; b) regime de bombeamento; c) permeabilidade do aquífero. Neste último caso, pode-se dizer, em linhas gerais, que quanto mais permeável é o aquífero, mais rápida é a difusão dos sais na camada de água doce, ref.[11].

A área aqui em estudo corresponde a um aquífero costeiro localizado na região do Estreito, onde, a água que encontrará o fluxo subterrâneo de água salgada que está se infiltrando a partir do mar, corresponde à água da Lagoa dos Patos. Devido à existência do regime de enchente e de vazante, a água superficial desta lagoa, pode estar doce ou salgada, ou seja, a água da lagoa que se deslocará em direção ao mar a partir da água subterrânea poderá já ter sofrido influência do mar. Além disso, o nível da Lagoa varia ao longo do tempo e como consequência, ocorre variação no nível do aquífero freático que permitirá uma flutuação da interface água lagoa-mar (Figura 1).

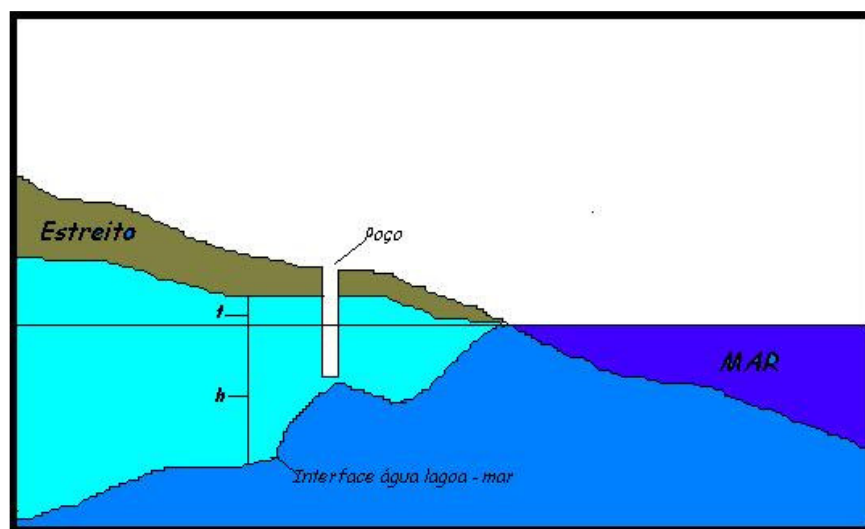


Figura 1: Representação da Intrusão salina na zona de água provinda da Lagoa, provocada pelo bombeamento de um poço freático.

Assim sendo, o presente estudo pretende investigar a eficácia dos dados de pressão hidrostática, em dois poços de diferentes profundidades localizados na região do Estreito, no entendimento do transporte de água subterrânea em um aquífero costeiro localizado entre a Lagoa dos Patos e o oceano Atlântico. A eficácia será analisada a partir de cruzamentos destes dados com os de condutividade de um poço localizado próximo a eles e com dados de níveis simulados na região da lagoa próxima a estes poços. Com tal compreensão, quer se entender como ocorre o transporte dominante da água subterrânea nos meses de agosto, setembro e outubro de 2005 (meses em que se acredita predominar o regime de vazante na lagoa).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com Window, et. Al. (1999) [9], durante o período de baixa descarga (janeiro-março) a água do mar chega a penetrar 200 km acima da Lagoa dos Patos. Além desta intrusão salina superficial, acredita-se que exista a ocorrência de uma intrusão subterrânea da água do mar, cuja intensidade é controlada pelo nível freático, neste caso, comandado pelo nível da Lagoa dos Patos.

Devido a esta intrusão salina, acredita-se que o transporte de água subterrânea deva ser a principal causa que afeta a qualidade da água usada pela população da localidade do Estreito (município de São José do Norte), que afirma que em época de estiagem, quanto mais captam água, mais salgada esta fica, prejudicando assim, inclusive a saúde desta população.

Em virtude disto, diariamente desde junho de 2003 amostras de água são coletadas em três poços de abastecimento doméstico: um na margem da Lagoa dos Patos, outro na Escola Municipal Pe. Eugênio Tyck e outro próximo à praia, na Barra do Estreito (poços 1, 2 e 3, respectivamente), para determinação da condutividade/salinidade (Figura 2). Existe entre estes três poços uma distância em torno de 5,1km, sendo o poço 1 localizado próximo à lagoa, distante cerca de 2,04 km do poço 2 que está localizado numa região intermediária e dista cerca de 3,07 km do poço 3, que é o que se encontra mais próximo ao mar (Figura 2). Desta forma, tem-se uma série diária, com quase três anos de dados, para os poços 1, 2 e 3, onde se pode observar a variação da condutividade ao longo do tempo, num período satisfatório (Figura 3).

Para obtenção da salinidade em diferentes profundidades, perfurou-se três poços com profundidades de 5m, 10m e 15m nas proximidades do poço 1 e três poços com profundidades 11,5m, 15m e 27m nas proximidades do poço 3. Tais profundidades foram escolhidas em virtude das características geológicas onde se encontra cada poço. O poço 2 corresponde a um poço constantemente bombeado por estar localizado em uma escola.

Quando se inicia o bombeamento de um poço, ocorre neste o rebaixamento do nível da água, criando um gradiente hidráulico (diferença de pressão) entre este local e suas vizinhanças, ref [11]. Por esta razão, impossibilitou-se a perfuração de outros poços nas proximidades da escola.

A primeira saída, onde os poços foram perfurados, foi realizada em novembro de 2003, a segunda saída ocorreu em janeiro de 2004, a terceira saída em março de 2004, a quarta saída em julho de 2004, a quinta saída em outubro de 2004, a sexta saída em dezembro de 2004, a sétima saída em fevereiro de 2005, a oitava saída em junho de 2005 e a última saída ocorreu em janeiro de 2006.

Para obtenção de uma outra medida diária, além da condutividade, em julho de 2005, em poços de profundidades 8m e 27m, localizados próximos ao poço 3, foram colocados sensores de pressão hidrostática que utilizam o software HOBOT Data Loggers e forneceram a pressão(psi) diária até o início de janeiro de 2006. A cada hora, dados de pressão são armazenados pelos sensores, e estes são transformados, a partir de uma média, em dados diários para correlação com os dados de condutividade.

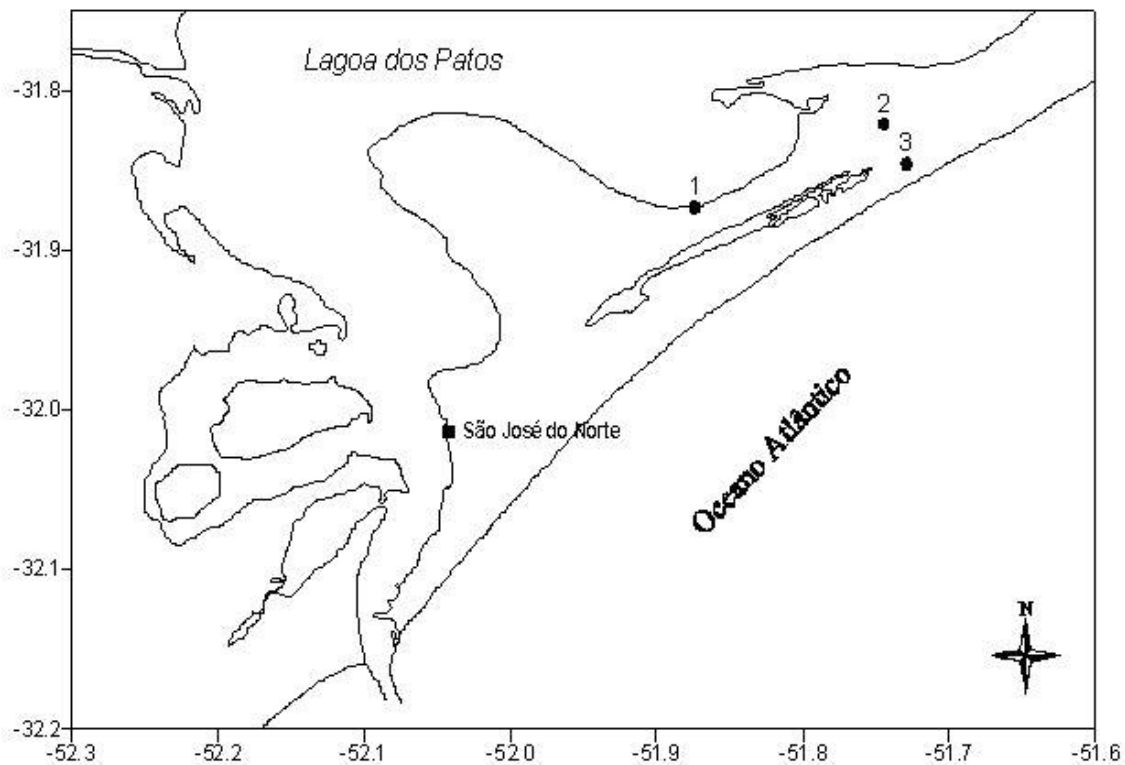


Figura 2: Localização dos poços. Poço 1 (lat. $31^{\circ}52,388'$, long. $51^{\circ}52,443'$), poço 2 (lat. $31^{\circ}49,256'$, long. $51^{\circ}44,702'$) e poço 3 (lat. $31^{\circ}50,712'$, long. $51^{\circ}43,751'$).

Para uma melhor compreensão dos processos em questão, utilizou-se ainda, dados de níveis simulados na região da lagoa mais próxima possível dos poços.

A determinação dos níveis nos locais mais próximos dos poços foi realizada utilizando o modelo Delft3D em sua versão de avaliação. Foi utilizada uma grade com apenas uma camada com cerca de 5000 elementos com maior refinamento na região de interesse. Já a batimetria utilizada foi obtida do trabalho de Castelão (1999), ref.[4].

Como condições de contorno foram definidas as margens da lagoa como fronteiras fechadas e os limites norte e sul como fronteiras abertas, além do Canal São Gonçalo e do Rio Camaquã. A fronteira norte, correspondente ao Lago Guaíba, foi prescrita como uma série temporal das descargas dos rios Jacuí, Caí, Sinos, Taquari e Gravataí, obtidos na Agência Nacional de Águas (ANA). As condições de contorno referentes ao Canal São Gonçalo e o Rio Camaquã foram definidas como as séries temporais de níveis obtidas da (ANA) ref[1].

Já a fronteira sul consiste de parte da plataforma continental do Oceano Atlântico onde foi estabelecido como forçante o nível do mar, levando em conta uma maré lunar semi-diurna com amplitude de 0,5m, frequência de $28,8 \text{ }^{\circ} \cdot \text{h}^{-1} \mu$ e fase de 233° , ref[7].

A calibração do modelo contou com a comparação dos dados observados obtidos na ANA com os valores simulados. O período para calibração foi todo o ano 2001 utilizando os ventos interpolados entre Rio Grande e Porto Alegre do mesmo período. Como parâmetros de calibração foram escolhidos o coeficiente de arraste do vento e o coeficiente de atrito de fundo sendo estes variados até que os dados observados e simulados coincidissem. A calibração mostrou bons resultados para a região de interesse demonstrando que o modelo poderia ser aplicado para o objetivo desejado.

Dessa forma, passou-se a etapa de validação do modelo que é a fase em que se verifica se o modelo é capaz de simular o sistema sem dados observados. Esta etapa foi realizada comparando os dados observados durante todo o ano de 2002 com os dados simulados, apresentado um bom desempenho para a região de interesse. Tendo o modelo calibrado e validado, gerou-se então as séries de níveis nas proximidades dos poços para os anos de 2003, 2004 e 2005.

Os dados de precipitação foram fornecidos pelo Banco de Dados Meteorológicos da estação principal da Fundação Universidade de Rio Grande, ref[2].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A hipótese da salinização na água dos poços da localidade do Estreito em períodos de estiagem pode ser explicada tanto pelo transporte de água subterrânea no sentido lagoa-mar (neste caso, a lagoa estando salgada) como no sentido mar-lagoa.

Sentido lagoa-mar: entrada superficial da água do mar na lagoa a partir da boca dos molhes, salinizando a água da lagoa na região dos poços e permitindo o transporte subterrâneo desta, por diferença de pressão hidráulica, na direção do mar;

Sentido mar-lagoa: diminuição do nível da lagoa de tal forma, que este se torne igual ou mesmo inferior ao do mar, permitindo desta forma, uma intrusão subterrânea da água do mar em direção a lagoa. A coluna de água doce passa a não ser mais capaz de ser sustentada pela água salgada e a relação matemática $h=t/(g-1)$ perde o sentido.

Na tentativa de esclarecer o motivo da salinização da água destes poços, pensou-se inicialmente em acompanhar a variação da condutividade ao longo do tempo (Figura 3).

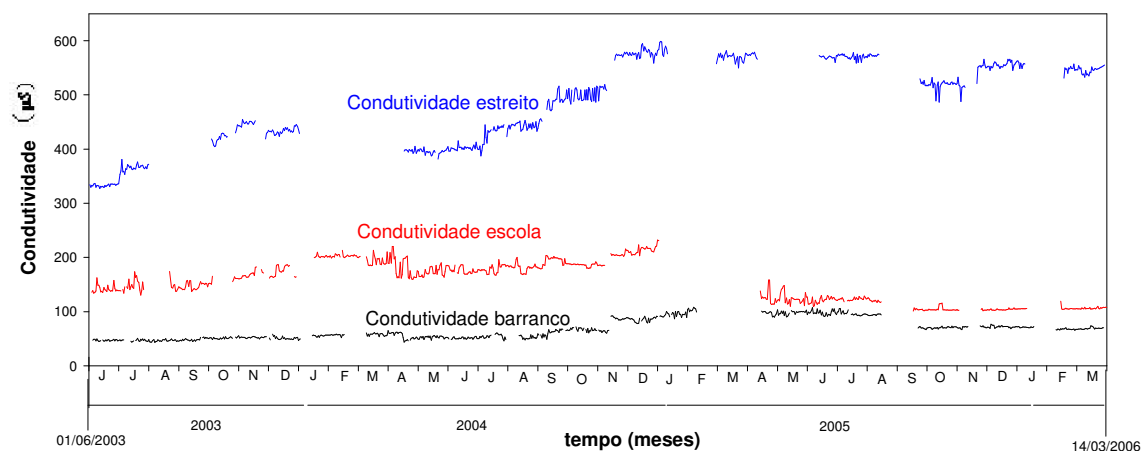


Figura 3: Condutividade diária (μS) nos poços 1, 2 e 3.

Nota-se que a condutividade varia com a distância em relação ao mar, ou seja, o poço mais próximo ao mar possui maior condutividade (entre 327,6 μS e 599 μS), o intermediário, condutividade intermediária (entre 101,4 μS e 232,2 μS) e o mais próximo à lagoa, possui menor condutividade em relação aos anteriores (entre 43,4 μS e 108 μS). Pode-se, então, notar que a condutividade máxima de um poço, corresponde a aproximadamente a mínima do outro (poços 1, 2 e 3, respectivamente). Além disso, a condutividade varia ao longo do tempo. Isto

está de acordo com o esperado, indicando a possibilidade do nível da lagoa, em função de épocas de seca e enchente, ser o determinante desta variação.

Durante a perfuração dos poços, para obtenção da salinidade a diferentes profundidades, chamou a atenção que o poço mais profundo (15m) localizado nas proximidades do poço 1 fluía continuamente. Esta observação levou à implantação de um monitoramento do nível nas saídas posteriores, em virtude da suspeita de que o nível da lagoa condiciona o nível dos poços. Por isso, a partir da segunda saída, tal monitoramento foi feito e o resultado se encontra na Figura 4. O monitoramento da condutividade/salinidade em diferentes profundidades, apresentou resultados que se mostraram praticamente constantes ao longo das profundidades dos poços, evidenciando a importância de dados superficiais.

Dentro da classificação dos aquíferos em confinados (artesianos) e não confinados (livres ou freáticos), o poço a 15 m (poço 1) parece ser um caso de aquífero confinado, onde a água encontra-se a uma pressão maior que a pressão atmosférica, limitada superior e inferiormente por formações impermeáveis, no caso da região estudada, por camadas de lama, ref.[5]. O aquífero artesiano é um aquífero confinado onde a elevação da superfície piezométrica (freática) está sobre a superfície do terreno. Os aquíferos confinados são geralmente aquíferos de grande produção, enquanto que os aquíferos livres são os mais explorados devido ao fácil acesso ref.[8]. O poço que penetra em um aquífero artesiano – poço artesiano – o nível de água em seu interior subirá acima da camada aquífera. Poderá, às vezes, atingir a boca do poço e produzir uma descarga contínua. Neste caso particular, o poço artesiano denomina-se *jorrante* ou *surgente*, ref[10].

A alimentação dos aquíferos freáticos ocorre geralmente ao longo do próprio lençol, ao passo que, nos aquíferos artesianos, ela se verifica somente no contacto da formação com a superfície, podendo ocorrer a uma distância considerável do local do poço. As condições climáticas ou o regime hidrológico observados na área de perfuração do poço, neste caso, pouco ou nada influirão na produção do poço, ref[10].

Os poços menos profundos, (5m e 10m nas proximidades do poço1) não jorravam e seus níveis eram diferentes entre si, porém de comportamento semelhante (figura 4). Acredita-se que estes poços estejam inseridos no aquífero freático (livre), onde a superfície piezométrica serve como fronteira superior. Um poço perfurado em um aquífero freático – poço freático – terá o nível de água em seu interior coincidente com o nível do lençol, ref[10].

Provavelmente para os poços de 5m e de 10m (poço1) e para o poço de 10m (poço3), o lençol responsável por seus níveis seja influenciado pela Lagoa dos Patos.

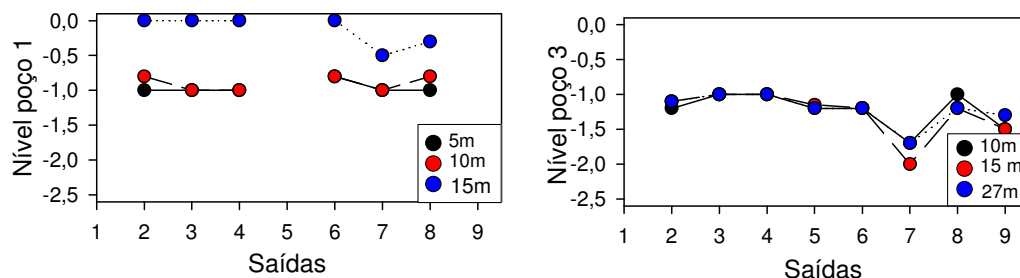


Figura 4: Nível de água dos poços nas 9 saídas realizadas e em três profundidades.

Entretanto, apesar de importante, a Figura 4 apresenta dados aproximados e pontuais nas 8 saídas em que o monitoramento do nível foi feito, e tais dados são de difícil relação com a condutividade diária. Na tentativa de solucionar tal problema, procurou-se buscar dados

contínuos no tempo, com elevada precisão, de um parâmetro que demonstrasse correlação com os dados de condutividade.

A constatação da mudança no nível dos poços foi o gatilho para iniciar a realização de medidas contínuas que permitissem o entendimento da variação deste nível. Para tal, utilizou-se sensores de pressão. Dessa forma, pôde-se saber, como ocorre a variação da pressão da água interna destes poços ao longo de seis meses. Com a obtenção destas duas séries diárias (poços a 10m e a 27m), pôde-se iniciar a tentativa de relacionar estes dados.

Através de uma série diária de 6 meses, obteve-se uma baixa correlação ($r^2=-0,30$) entre os dados de pressão hidrostática na profundidade de 10m e a condutividade, ambas medidas diárias e realizadas no poço 3. Neste caso, dois processos podem estar ocorrendo neste período (água da Lagoa, doce e/ou salgada, estar se dirigindo ao mar e/ou água do mar estar se dirigindo à Lagoa), refletindo na baixa correlação encontrada. Observando-se a Figura 5, nota-se que provavelmente aquíferos diferentes se fazem presentes. Utilizou-se somente os dados de pressão no poço a 10m, devido ao fato de se acreditar que somente este seja um poço freático, e portanto, sofra a influência da lagoa.

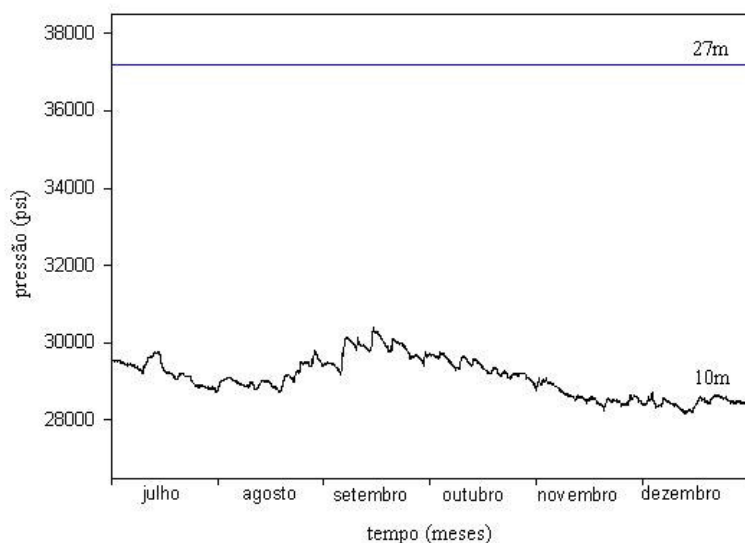


Figura 5: Pressão hidrostática nos poços a 10m e a 27m ao longo de seis meses.

Diminuindo-se o período de análise para 3 meses (julho, agosto e setembro), obteve-se uma melhor correlação ($r^2=-0,64$), provavelmente aqui o processo dominante corresponda à entrada da água doce da lagoa em direção ao mar por água subterrânea, uma vez que foram retirados os meses quentes, onde provavelmente a água do mar está entrando na Lagoa. A correlação negativa indica que a água da lagoa está doce, uma vez que se espera que a pressão responda positivamente ao nível da lagoa e, o resultado aqui apresentado implica em um aumento na pressão do poço diminuir a condutividade deste, o que pode ser explicado pela entrada de água doce no poço. Também foram correlacionados dados de pressão no poço 3 com níveis da Lagoa simulados próximos ao poço 3, onde a correlação encontrada foi semelhante à anterior ($r^2=0,64$), porém, agora positiva, o que reforça a hipótese de transporte no sentido lagoa-mar uma vez que, o aumento da pressão no poço responde ao aumento do nível da lagoa, ou vice-versa.

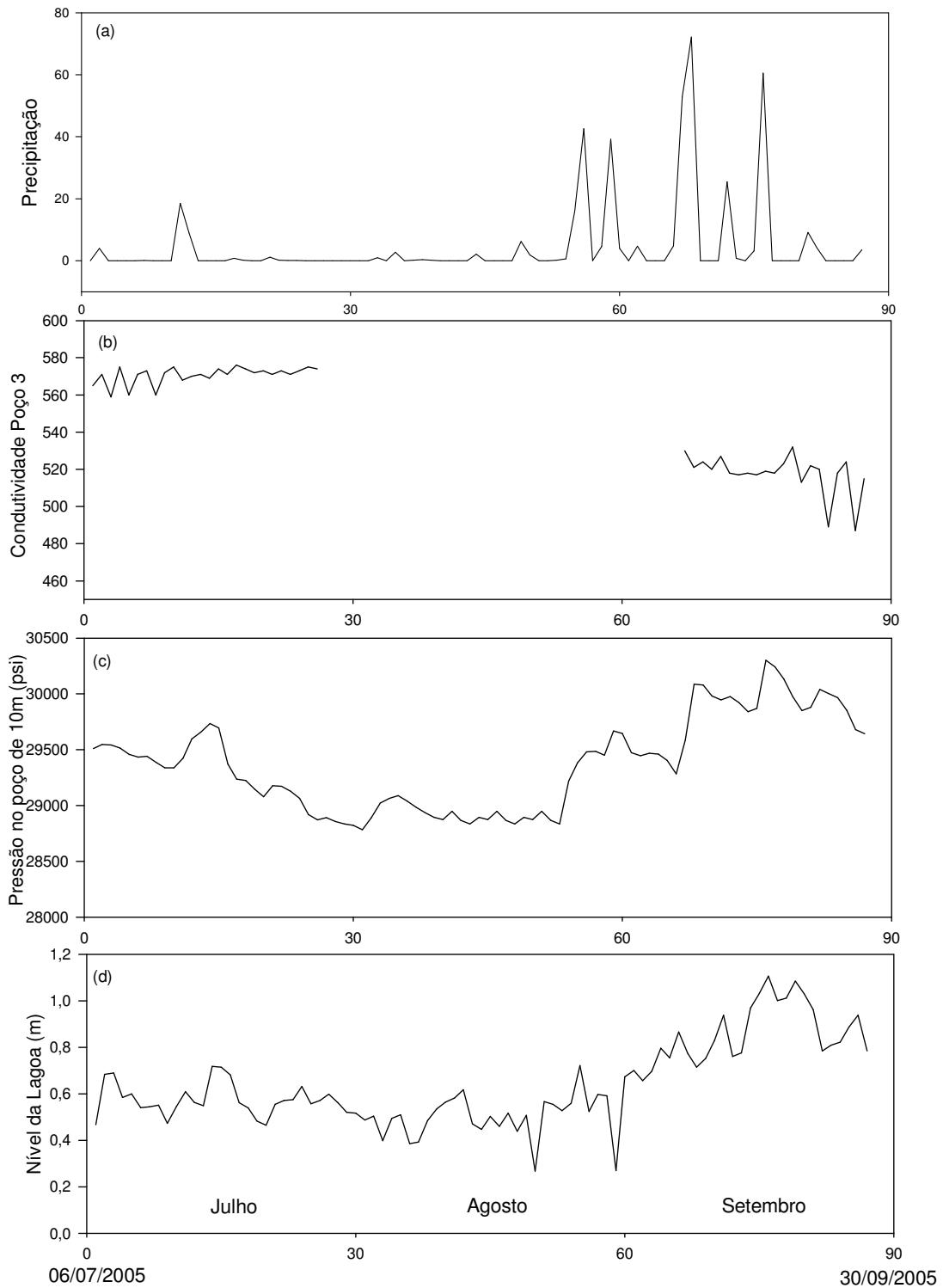


Figura 6: (a) Taxa de precipitação em Rio Grande; (b) Condutividade superficial diária no poço3; (c) Pressão no poço9 a uma profundidade de 10m; (d) Nível simulado para a Lagoa dos Patos na região dos poços 1, 2 e 3.

Correlações de condutividade do poço 3 com os níveis simulados ($r^2=-0,65$), também forneceram valores semelhantes aos anteriores, uma vez que a pressão está positivamente relacionada ao nível da lagoa. Estas correlações demonstraram que a lagoa possivelmente está, na maior parte do tempo destes três meses, doce e o transporte de água subterrânea está ocorrendo no sentido lagoa-mar.

A precipitação atmosférica, sob forma de chuva, neve ou granizo produz, além do escoamento superficial e da evaporação, a infiltração, no solo, de certa parcela de água. Parte da água infiltrada evapora-se nas primeiras camadas, uma outra parte é absorvida pelas plantas e sofre o fenômeno da transpiração e, ainda, uma certa quantidade infiltra-se mais e vai concentrar-se em camadas inferiores ref [8].

A partir dos dados de precipitação observa-se que, no período onde esta foi maior, a condutividade do poço 3 diminui, indicando assim que a água precipitada pode ter percolado o sedimento e diluído a água presente em seus poros (Figura 6-a,b). Neste mesmo período, observa-se um relativo aumento na pressão do poço 9 numa profundidade de 10m (Figura 6-c), já a pressão no poço de 27m se mostra constante ao longo de todo o período, indicando não haver influência da precipitação na água deste poço mais profundo (Figura 6-d). Observa-se pouca influência da precipitação no nível da Lagoa dos Patos. Ao se subtrair a precipitação da evaporação em todo o ano de 2005, nota-se que a evaporação excedeu a precipitação em 14,8mm. Ao se observar a tabela 01, nota-se que somente em quatro meses no ano de 2005 a precipitação excedeu a evaporação. Mesmo no mês mais chuvoso (setembro), observa-se que choveu cerca de 208,6mm em 14 dias, ou seja, em torno de 15mm/dia, que em termos de nível da lagoa corresponde a uma quantidade relativamente pequena (Tabela 1).

Tabela 1- Precipitação, número de dias em que ocorreu a precipitação e evaporação, fornecidos pelo banco de dados principal da Estação Meteorológica de Rio Grande.

	ANO 2005			
MESES	PRECIPITAÇÃO(mm)	DIAS	EVAPORAÇÃO(mm)	P-E
JAN	17,2	3	176,6	-159,4
FEV	38,9	8	147,4	-108,5
MAR	76,4	9	172	-95,6
ABRIL	262,5	15	101,4	161,1
MAIO	163,4	19	66,2	97,2
JUN	25,4	16	49,9	-24,5
JUL	62,7	11	70,9	-8,2
AGOS	74,2	12	91,7	-17,5
SET	289,5	14	80,9	208,6
OUT	106,1	9	101,2	4,9
NOV	55,5	2	149	-93,5
DEZ	38,9	8	180,8	-141,9
TOTAL	1210,7	126	1388	-177,3

4. CONCLUSÃO

Os dados de pressão da água interna dos poços, em uma série temporal contínua, demonstraram ser eficazes indicadores do transporte de água subterrânea. O sensor de pressão, colocado no poço de maior profundidade (27 metros), indica um valor quase constante ao longo do período analisado de 3 meses, ou seja, não há influência direta da precipitação ou do nível da Lagoa dos Patos em maiores profundidades. Dessa forma, a

hidrologia desse sistema deve ser influenciada por um outro aquífero não submetido diretamente às forçantes impostas pela Lagoa dos Patos. Esta diferença de comportamento da pressão em profundidades diferentes, indica portanto, a complexidade deste sistema em estudo, uma vez que todas as averiguações feitas anteriormente, constatando-se que durante os três meses analisados, a lagoa possivelmente estava doce e o transporte de água subterrânea estava ocorrendo no sentido lagoa-mar, não valem para maiores profundidades. Torna-se também evidente a necessidade de se trabalhar com séries temporais mais longas, para que se possa entender o transporte em diferentes cenários (lagoa cheia, lagoa em época de seca e períodos de transição).

Portanto, além de toda a complexidade e dinamismo do comportamento da água do continente para a zona costeira pela superfície, soma-se o transporte subterrâneo, o qual é condicionado em parte pelas águas da Lagoa dos Patos e em parte por outro condicionante ainda desconhecido.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Agência Nacional de Águas. On line. <http://hidroweb.ana.gov.br>
2. Banco de Dados Meteorológicos da estação principal da Fundação Universidade de Rio Grande. On line. <http://www.meteorologia.furg.br>
3. CALLIARI, L. J. *Aspectos sedimentalógicos e ambientais na região estuarina da Lagoa dos Patos*. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1980.
4. CASTELÃO, R. M. *Estudo da dinâmica da Lagoa dos Patos através da modelagem numérica*. 1999. 83p. Monografia (Graduação em Oceanologia) – Fundação Universidade federal do Rio Grande, Rio Grande, 1999.
5. WINDOM H. L.; NIENCHESKI L. F.; SMITH R. G., 1999. *Biogeochemistry of Nutrients and Trace Metals in the Estuarine Region of the Patos Lagoon (Brazil)*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 48, 113-123.
6. SEELINGER, U.; ODEBRECHT, C.; CASTELO, J. P. 1997. *Subtropical Convergence Environments*. Germany: Springer-Verlag. p.20-24.
7. HERTZ, R. *Circulação de águas de superfície da Lagoa dos Patos*. 1977. 722f. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Departamento de geografia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1977.
8. LINSLEY, R. K.; FRANZINI, J. B., 1917. *Engenharia de recursos hídricos*. Tradução e adaptação: PASTORINO, L. A., 1978. Ed. da Universidade de São Paulo. 4, 99-142.
9. WINDOM H. L.; NIENCHESKI L. F.; SMITH R. G., 1999. *Biogeochemistry of Nutrients and Trace Metals in the Estuarine Region of the Patos Lagoon (Brazil)*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 48, 113-123.
10. YASSUDA, E. R.; NOGAMI, P. S., 1987. *Captação de água subterrânea*. IN: PEREIRA, B. E. B; YASSUDA, E. R; MARTINS, J. A; NOGAMI, P. S; GAGLIANONE, S;

OLIVEIRA, W. E. *Técnica de abastecimento e tratamento de água*. CETESB/ASCETESB. p.135-204.

11. ZIMBRES, E. *Guia avançado sobre água subterrânea (Hipertexto)*, 2000. On line. <http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/aguasubterranea.htm>. Acessado em 26/07/2006