

IAHR

AIPH

**XXI CONGRESSO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
SÃO PEDRO, ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL, OUTUBRE, 2004.**

MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA DA LAGOA DOS PATOS

Régis S. Pereira¹; Luis Felipe H. Niencheski²

¹ Fundação Universidade Federal do Rio Grande – Mestre em Eng. Oceânica. Brasil. regissp@vetorial.net

² Fundação Universidade Federal do Rio Grande – Lab Hidroquímica. Brasil. dqmhidro@furg.br

RESUMO: Em corpos hídricos, uma avaliação individual dos processos químicos e físicos é uma tarefa difícil, devido à interdependência entre eles. A Lagoa dos Patos está entre os sistemas mais complexos neste aspecto. O objetivo deste trabalho é avaliar os processos que regem a qualidade das águas no eixo principal desta lagoa, através do modelo matemático Delft3D. Foram avaliados o material em suspensão, oxigênio dissolvido, nitrogênio e fósforo. Segundo as simulações o comportamento do material em suspensão e do oxigênio dissolvido é determinado pela sedimentação e reaeração, respectivamente. Os resultados evidenciam ainda que a maior fonte de nitrogênio é a forma orgânica proveniente do transporte pelos principais tributários e resto orgânico da flora e fauna. Já o fosfato se apresenta como uma das principais fontes de fósforo para a lagoa e o processo que rege seu comportamento é a adsorção pelo material em suspensão. Assim pode-se dizer que no eixo principal da lagoa a poluição é praticamente inexistente devido à alta capacidade de autodepuração do sistema.

PALAVRAS CHAVE: Lagoa dos Patos, qualidade da água, Delft3D.

ABSTRACT: In water bodies, an individual evaluation of the chemical and physical processes is a difficult job, due to interdependence between them. The Patos Lagoon is a very complex system in this aspect. The aim of this work is to evaluate the processes that govern the water quality in the main axis of this lagoon, using Delft3D mathematical model. Suspended matter, dissolved oxygen, nitrogen and phosphorous had been evaluated in this work. According to simulation the suspended matter and the dissolved oxygen behavior is determined by the sedimentation and reaeration, respectively. The results show that the main source of nitrogen is the organic form, deriving from the transport for the main rivers of this hydrographical basin and organic residues remaining of the flora and fauna. The phosphate is the principal source of phosphorous of the lagoon and the process that governs its behavior is the adsorption for the suspended matter. This results mean that in the main axis of Patos Lagoon there is a very small pollution by this nutrients because of the high autodepuration capability of this system.

INTRODUÇÃO

A preservação dos sistemas hídricos e da qualidade de suas águas é uma constante preocupação dos pesquisadores que buscam amenizar as consequências da ação humana sobre o meio ambiente. A multiplicidade dos usos dos recursos hídricos, associada à característica de recurso natural renovável e também finito, define um cenário que reflete a complexidade da relação entre usos e preservação destes recursos (PEREIRA, 2003)

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída no Brasil pela Lei Federal 9433/97, é importante ferramenta legal para o gerenciamento da utilização da água. Como ferramentas técnicas, surgem os modelos matemáticos e programas computacionais, utilizados no suporte à decisão entre alternativas de gestão ou uso, e como agentes facilitadores neste processo (MENDONÇA, 2001).

Os modelos matemáticos são técnicas que permitem representar alternativas propostas e simular condições reais que poderiam ocorrer dentro de uma faixa de incertezas, inerente ao conhecimento técnico científico (TUCCI, 1989)

Segundo Schonnor (1996) podemos resumir em três as razões para justificar a elaboração de modelos matemáticos de qualidade de água: 1) obter melhor compreensão do destino e transporte de substâncias químicas através da quantificação de suas reações, evolução e movimentos; 2) determinar concentrações de exposição química em organismos aquáticos e/ou humanos no passado, presente e futuro; 3) prognosticar condições futuras sobre vários cenários que recebem cargas ou alternativas de ações gerenciais.

Autores como Wiergert (1975) e Jorgensen (1994) ressaltam ainda que esses modelos têm grande valor no preenchimento de lacunas de informações disponíveis, análise de fluxos dentro de diferentes compartimentos e no estudo dos processos ambientais. Além dessas vantagens os modelos podem ainda avaliar situações onde dados reais são de difícil medição e sua utilização é de baixo custo, quando comparado com campanhas de campo (FITZPATRICK et al., 2001). Vale lembrar que os modelos não substituem as campanhas de campo, pois esses dados são indispensáveis para calibração e validação de qualquer modelo.

Tendo em vista as vantagens e facilidades apresentadas na utilização dos modelos, este trabalho tem como objetivo aplicar o modelo Delft3D para determinar o comportamento dos processos relativos ao material em suspensão, oxigênio dissolvido, nitrogênio e fósforo que determinam a qualidade ambiental no eixo principal da Lagoa dos Patos.

PREPARAÇÃO DO MODELO

A construção da grade computacional foi feita excluindo a Lagoa do Casamento, o Saco de Tapes, o Saco do Rincão, o Saco da Mangueira, Saco do Arraial e o Saco do Rio Grande, com o objetivo de suavizar as margens da lagoa (Figura 1a), facilitando a modelagem da circulação hidrodinâmica.. Essa grade então foi dividida em duas camadas, onde cada camada (superfície e fundo) constaria com 50% da profundidade total da lagoa.

Na simulação da dinâmica da Lagoa dos Patos, foram fornecidas como condições de contorno, fronteiras fechadas (margens da lagoa) e fronteiras abertas (limites norte, sul e tributários) (Figura 1b). Na fronteira norte foi aplicada como forçante a descarga da lagoa e foi prescrita como uma série temporal, obtida pela interpolação de dados mensais, assim como o Rio Camaquã e o Canal do São Gonçalo. A fronteira sul consiste dos Molhes da Barra do Rio Grande, nesta fronteira foi estabelecida como forçante o nível do mar.

As condições de contorno utilizadas nas simulações da qualidade da água foram os aportes do material em suspensão, oxigênio dissolvido, nitrogênio e fósforo no Rio Guaíba, no Rio Camaquã e no Canal do São Gonçalo, além do aporte destes constituintes pelos Molhes da Barra..

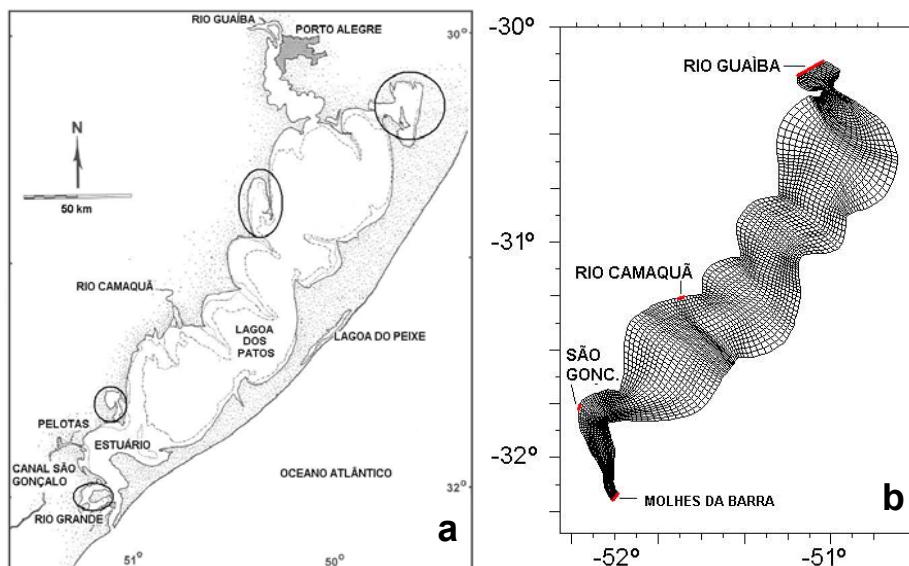


Figura 1: a) Localização da Lagoa dos Patos e simplificações dos contornos; b) Grade e localização das condições de contorno.

Os dados utilizados para a validação dos modelos hidrodinâmico e de qualidade de água foram obtidos pelo Projeto Espinha de Peixe, onde parâmetros físicos, químicos e biológicos foram levantados no período compreendido entre 06 de janeiro a 03 de fevereiro de 1986, num total de 60 estações de amostragem. Destas, 17 estações foram amostradas na região estuarina, e as restantes foram divididas em transectos no sentido leste-oeste e norte-sul (Figura 2a). A escolha pela utilização destes dados foi feita devido a grande variedade espacial de dados, que forneciam uma maior caracterização de todo o sistema.

Para a avaliação dos processos responsáveis pela qualidade da água foram utilizados os dados do Programa Mar de Dentro, que durante o período compreendido entre fevereiro de 1999 e janeiro de 2000, foram realizados 11 cruzeiros, quando foram coletadas amostras em 8 estações dentro do corpo da lagoa, no seu eixo principal, 3 estações nos principais tributários (Rio Guaíba, Rio Camaquã e Canal do São Gonçalo) e ainda uma estação na plataforma, logo em seguida da saída dos Molhes da Barra (Figura 2b).

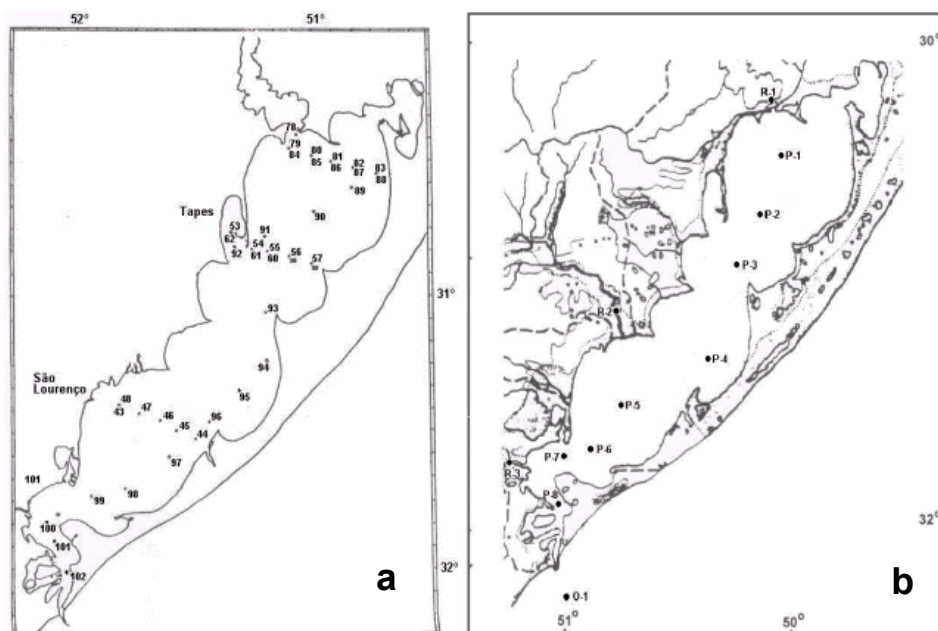


Figura 2: Estações de amostragem do Projeto Espinha de Peixe (a) e do Programa Mar de Dentro (b).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

a) Validação do modelo hidrodinâmico

Durante a época em que foram realizados os cruzeiros, foi observado que não havia sido registrado períodos de chuvas intensas, nem grandes períodos de seca, tornando os dados disponíveis representativos do comportamento do ambiente. Portanto, a validação do modelo foi feita utilizando a salinidade que é um bom indicador dos processos de transporte continente-oceano e vice-versa (WANG et al., 1999).

Os resultados das simulações, assim como os valores medidos em campo de salinidade, não demonstraram variação vertical. Esse comportamento se deu devido ao alto grau de mistura encontrado na lagoa durante os períodos de amostragem.

Os locais próximos ao Molhes da Barra por serem mais próximos da ligação da lagoa com o oceano, região de maior profundidade e presença de cunha salina têm a dinâmica mais complexa. Apesar de todas essas características os resultados das simulações representaram exatamente os valores medidos.

Na região do Canal do São Gonçalo o modelo apresentou valores simulados muito próximos aos reais no período de vazante e alguns desvios durante o período de enchente. Em determinados períodos a salinidade simulada superdrou a real, esse comportamento se deve ao fato desta região estar localizada no extremo superior do estuário, onde aportam as águas da Lagoa dos Patos e ocasionalmente águas costeiras marinhas. Portanto, é uma região de hidrodinâmica diferenciada favorecida ainda pela quebra batimétrica (de 6m para 1m), e por conseqüência, região de grande mistura a qual não foi reproduzida com fidelidade pelo modelo.

Na região próxima ao Rio Camaquã os resultados simulados são mais próximos aos reais, pois a situação do fluxo é mais estável, por ser uma região de menos turbulência. Na porção central da lagoa o modelo apresenta valores inferiores aos medidos. Essa diferença dos valores simulados dos medidos nessa região, tem como explicação a influência do vento utilizado na simulação, pois o vento aplicado em toda lagoa foi o vento registrado em Rio Grande e, provavelmente esses locais já sofram influência de ventos da porção mais ao norte do estado, o que levaria a água salgada até porções mais interiores da lagoa. As regiões ao norte da lagoa não apresentaram nenhuma influência da água salgada, tanto nos valores medidos quanto nos simulados.

b) Validação do modelo de qualidade de água

No eixo principal da lagoa, os resultados das simulações mostraram que o modelo não reproduziu perfeitamente os dados reais. Esse resultado era esperado tendo em vista que para calibração do modelo foram utilizados dados médios mensais, pois eram os únicos disponíveis. Porém de forma geral o modelo representou a tendência do comportamento dos parâmetros avaliados, conforme mostra a Figura 3.

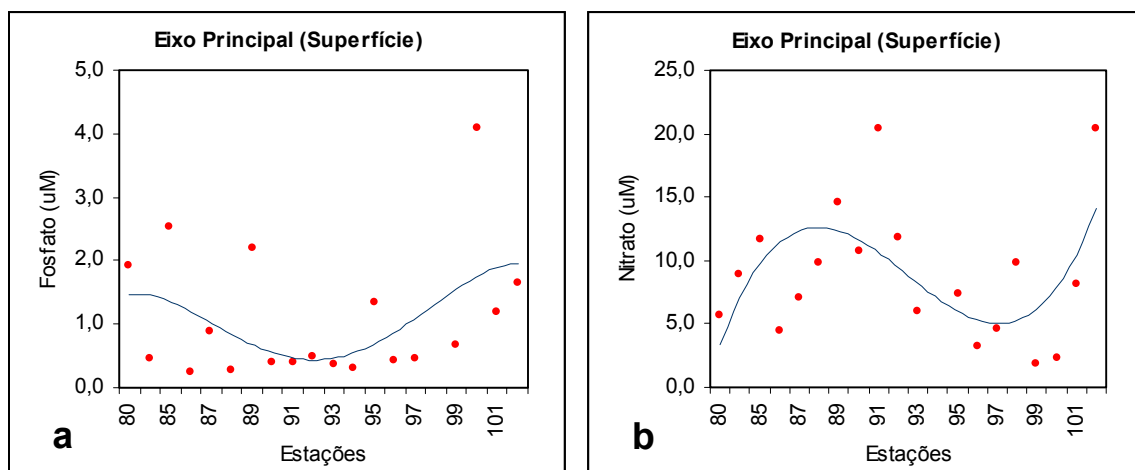


Figura 3: Distribuição das concentrações de superfície do fosfato (a) e do nitrato (b) ao longo do eixo principal da lagoa. Pontos: concentrações medidas em campo; Linha: concentrações simuladas.

Observando os dados no trecho São Lourenço, o modelo apresentou melhores resultados para o oxigênio dissolvido e nitrato, pois os valores simulados ficaram bem próximos aos valores reais. Entretanto, para os demais parâmetros os resultados foram menos precisos (Figura 4). Nesta região a validação ficou prejudicada, devido a existência de poucas estações de amostragem.

Os resultados das simulações mostram que na região de Tapes, o modelo demonstra mais precisão, pois a tendência do comportamento dos parâmetros foi obtida. Tendo em vista que o objetivo principal deste trabalho é avaliar os processos que ocorrem no eixo principal da lagoa, local onde o modelo de qualidade de água apresentou resultados satisfatórios, pode-se dizer que o modelo está apto a ser aplicado para a avaliação dos processos.

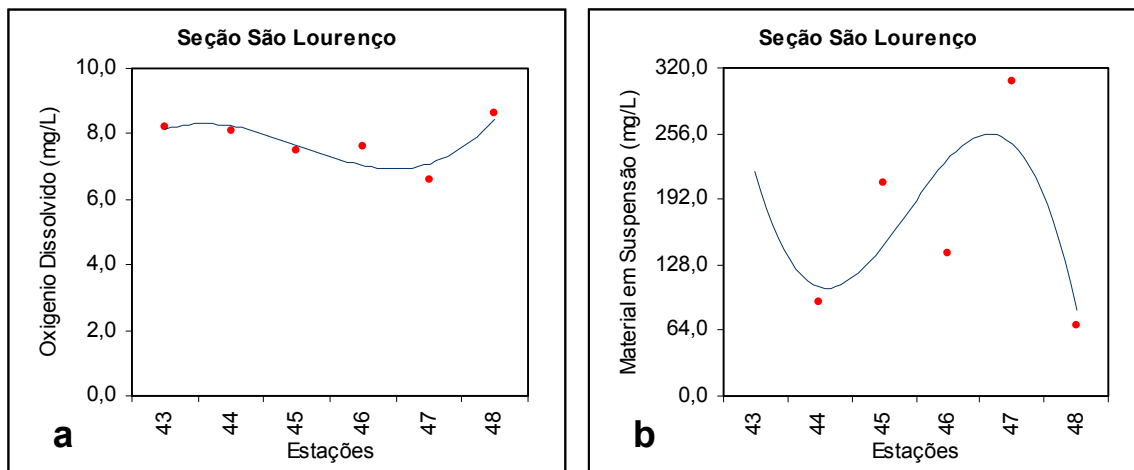


Figura 4: Distribuição das concentrações do oxigênio dissolvido (a) e do material em suspensão (b) ao longo da seção São Lourenço. Pontos: concentrações medidas em campo; Linha: concentrações simuladas.

c) Aplicação do modelo de qualidade de água

Material em Suspensão

Para o entendimento e discernimento dos processos que regem o comportamento do material em suspensão (MES) (ressuspensão e sedimentação) na Lagoa dos Patos, apenas os aportes de material em suspensão foram incluídos no modelo. Assim, todo valor medido em campo superior ao valor simulado correspondente, significa que há a ressuspensão de material, enquanto que valores medidos inferiores aos simulados corresponde ao processo de sedimentação.

As simulações mostram que o processo de sedimentação predomina do ponto 1 ao 6. Isso se deve ao fato de que a água vinda do Rio Guaíba quando atinge o corpo da lagoa perde velocidade, devido sua maior seção fazendo com que o MES decante.

O modelo mostra que esse comportamento só é diferenciado nos meses de julho, agosto e novembro. Nos meses de julho e agosto, o aumento do MES se dá devido às descargas dos tributários terem sido as maiores registradas, conseqüentemente houve o aumento de MES adicionado a lagoa, entretanto esse aumento não foi o suficiente para que o modelo atingisse valores tão elevados quanto os medidos em campo. Isso evidencia que nesses meses o processo de ressuspensão é predominante. Aliado a isso, nos meses de julho e agosto houve uma mudança na direção dos ventos, quando os ventos que eram do quadrante sul passaram a ser do quadrante norte, resultando numa maior turbulência e conseqüentemente a ressuspensão do material que estava depositado no fundo. No mês de novembro a ressuspensão se deve ao fato de que no mês anterior foram registrados os ventos de maior intensidade de todo o período em estudo, visto que na Lagoa dos Patos a circulação depende mais das condições meteorológicas que da maré.

As simulações do aportes de MES para os pontos 7 e 8 resultaram em valores maiores que os demais pontos. Isso se deve à localização destes pontos onde todas as descargas dos tributários já foram realizadas. Comparando os valores simulados com os valores de campo, chega-se a um inesperado resultado, de que nesses pontos a sedimentação é ainda mais predominante que em todos os outros (Figura 5). Era de se esperar que pelas características destes locais, altas concentrações fossem observadas e assim definir que nesses locais a ressuspensão era o principal processo, já que o ponto 7 está localizado na saída do Canal do

São Gonçalo, segundo principal tributário da Lagoa dos Patos, e o ponto 8 está localizado na região mais estreita do estuário da lagoa, região de maior dinâmica e que favorece a ressuspensão de fundo (NIENCHESKI et al., 1999).

Entretanto, esses resultados evidenciam que nesta região poderiam estar acontecendo outros processos que não a ressuspensão, tais como a floculação e adsorção (BURTON, 1976; POSTMA, 1980). Isso pode ser explicado devido ao fato de que a água marinha após penetrar no estuário, ocupa as áreas marginais rasas e atinge a estabilidade hidrodinâmica na ausência de ventos, iniciando assim os processos de floculação, coagulação, precipitação do material dissolvido para produzir novas fases sólidas, o que diminui a turbidez da coluna d'água, aumentando a atividade fotossintética, tanto na coluna como no sedimento, processo semelhante ao apresentado por Burton (1976).

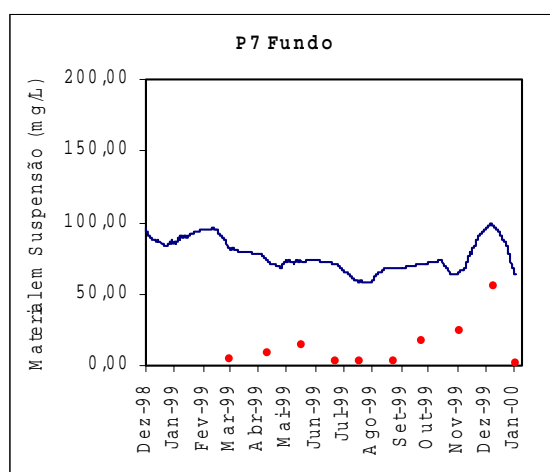


Figura 5: Distribuição do material em suspensão ao longo do tempo na estação P7. Pontos: concentração medida em campo; Linha: concentração simulada.

Oxigênio Dissolvido

Os processos avaliados que envolvem a adição e retirada de oxigênio dissolvido (OD) na Lagoa dos Patos foram os seguintes: denitrificação, nitrificação, reaeração e a oxidação da matéria orgânica por via bacteriana (indicada pela DBO). Cada um destes foram introduzidos individualmente no modelo de qualidade água juntamente com seus respectivos aportes dos principais tributários. Os demais processos disponíveis no modelo não foram utilizados devido à insuficiência de dados.

Em todos os cruzeiros realizados, a concentração de OD variou de 7 a 14 mg/L ao longo da lagoa. Não foi observada variação vertical da concentração de OD, com exceção nos meses de fevereiro e março de 1999 (verão) quando em algumas estações, os níveis de OD variaram levemente da superfície para o fundo.

Os resultados das simulações da denitrificação e da nitrificação demonstram que devido aos altos níveis de OD na lagoa esses processos são secundários em relação ao total de oxigênio existente. As simulações mostram que o oxigênio proveniente da denitrificação é responsável por 5,02% do oxigênio total adicionado ao sistema, enquanto que a nitrificação retira do sistema em torno de 4,17% do oxigênio total, valor próximo ao encontrado no estuário de Forth, 7,35 e 6,34% respectivamente (BALLS et al., 1996). Portanto, fica evidente que as altas concentrações de oxigênio não se devem a denitrificação, o que evidencia a presença de outro processo de adição de oxigênio ao ambiente, tais como a reaeração do ambiente e a produção primária assim como o observado no estuário de Ouse (SANDERS et al., 1997).

Quando o processo de aeração é aplicado, torna-se evidente que este processo realmente é o responsável pelas altas concentrações de OD (Figura 6a), pois a ação do vento na extensa superfície da lagoa e em áreas de profundidade rasa permite a introdução constante de oxigênio do ar para a água, mantendo a concentração de OD em níveis de super saturação, condição característica da Lagoa dos Patos (NIENCHESKI et al., 1999), raramente caindo abaixo da saturação com exceção de algumas áreas marginais (WINDOM et al., 1999). As altas concentrações de OD observadas no cruzeiro de julho evidenciam o efeito da intensa aeração do sistema, pois apesar de nessa época ter havido uma intensa ressuspensão de sedimento rico em matéria orgânica, o consumo de OD foi compensado pela reposição do oxigênio do ar, através da difusão ou ondas. Os níveis de OD mais baixos observados em dezembro são atribuídos às condições climáticas muito calmas. A calmaria das águas nos dias de amostragem limitou a introdução de oxigênio na

água, pois a troca de gases da atmosfera para a água se dá devido a fatores como: a temperatura, salinidade e nível de agitação da água. A agitação devido ao vento faz com bolhas de oxigênio se criem na superfície da água e essas sejam carregadas para áreas mais fundas e, como a Lagoa dos Patos é uma lagoa rasa, todas suas lâminas ficam com altos índices de oxigênio.

A baixa contaminação por matéria orgânica no ambiente, resulta na baixa demanda bioquímica de oxigênio. Os valores de DBO encontrados ficaram em torno de 1,36 mg/L O₂. Esse consumo representa 6,06% do oxigênio total da lagoa. Mesmo em estações próximas a áreas de alto potencial de poluição, como o Rio Guaíba e o Canal do São Gonçalo, a DBO se manteve em níveis baixos (Figura 6b), isso se deve à alta capacidade de autodepuração da Lagoa dos Patos.

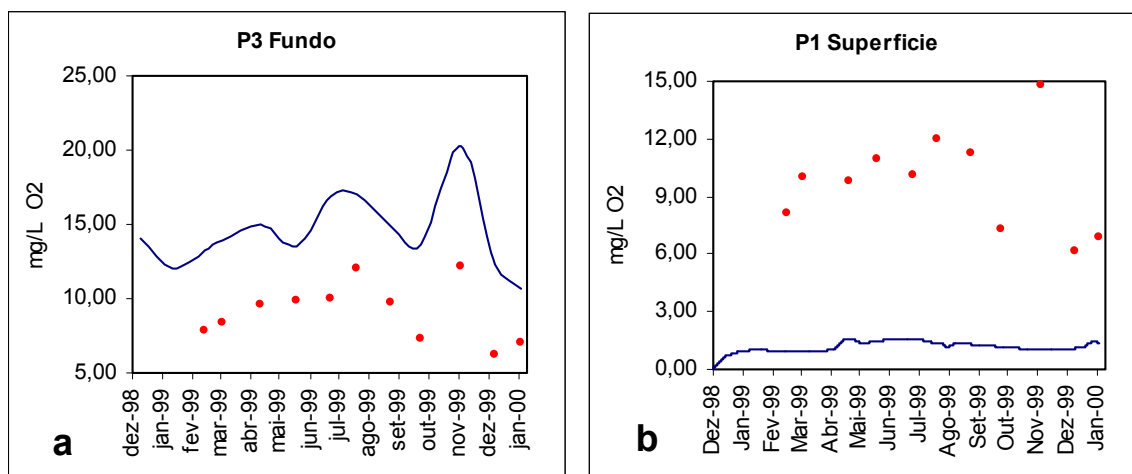


Figura 6: (a) Distribuição do OD ao longo do tempo na estação P3. Pontos: concentração do OD medida em campo; Linha: concentração simulada do OD adicionado pela **reaeração**; (b) Distribuição do OD ao longo do tempo na estação P1. Pontos: concentração do OD medida em campo; Linha: concentração simulada do OD retirado pela **DBO**.

Assim sendo, fica evidenciado que a concentração de OD presente na coluna d'água da Lagoa dos Patos se dá devido ao processo físico de aeração através da difusão do oxigênio atmosférico, e não aos processos químicos que nela ocorrem. Em contrapartida, os principais processos de consumo de oxigênio identificados na coluna d'água foram a DBO e a nitrificação, porém outro importante processo não contemplado pelo modelo, devido à insuficiência de dados, foi o consumo de oxigênio pelo sedimento, que segundo Zarzur (2001) contribui com redução de oxigênio de 988,1 mg/m²/d no verão e 779,3 mg/m²/d na primavera, constituindo assim um importante processo levado em conta.

Fósforo

A simulação evidenciou que a principal forma do fósforo na lagoa é a forma inorgânica representada pelo fosfato representando cerca de 40,2% do fósforo total, valor próximo ao encontrado na baía da Florida, aproximadamente 44,7% (FOURQUIREAN et al., 1993). Assim simulando apenas o fosfato, foi observada uma tendência sazonal da concentração de fosfato das estações 1 a 6, onde a concentração cresce de 0μM (outono) até 1,50μM (verão) se mantendo nesse valor durante esta estação. Comportamento esperado, já que durante este período um gradiente salino foi estabelecido e segundo Niencheski (1999) em geral a concentração de fosfato cresce com o aumento da salinidade, pois em águas salgadas as concentrações de ferro não são tão elevadas quanto em águas doces, onde compostos de Fe reagem com o fosfato diminuindo suas concentrações.

Os resultados do modelo mostram ainda que o principal processo responsável pelas concentrações do fosfato é o processo de adsorção pelo MES, pois as maiores remoções de fosfato são feitas nos meses em que MES atinge as maiores concentrações, ou seja, quanto maiores as concentrações de MES menores a de fosfato (Figura 7). Comportamento diferenciado somente é observado no ponto 8, provavelmente esse comportamento seja devido aos despejos de águas residuais e aporte atmosférico da atividade industrial da região, onde o principal produto é o fertilizante, fontes estas não contempladas pelo modelo.

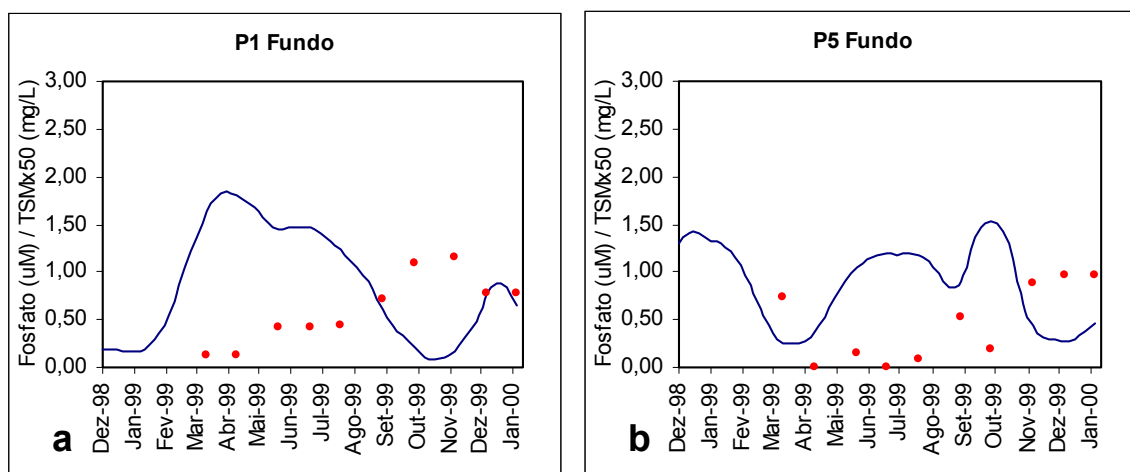


Figura 7: Distribuição do fosfato e material em suspensão ao longo do tempo nas estações P1 (a) e P5 (b). Pontos: concentração simulada de fosfato; Linha: concentração simulada de material em suspensão.

Nitrogênio

As simulações da análise do nitrogênio tiveram como objetivo quantificar as formas na qual esse constituinte se apresenta, forma inorgânica e orgânica. Portanto, a simulação foi conduzida levando em conta a modelagem do nitrogênio inorgânico (nitrato e amônio, nitrito não foi considerado devido suas concentrações terem sido quase nulas) e a diferença da soma desses em relação aos valores observados é o nitrogênio orgânico.

Os resultados do modelo mostram que a concentração de nitrato decresce ao longo da lagoa em direção ao oceano até o ponto 6 durante os meses de verão, comportamento semelhante ao observado no estuário de Changjiang (TIAN et al., 1993). Isso indica que o processos de denitrificação pelo sedimento ou o consumo bacteriano são predominantes, levando as concentrações de nitrato de 30 para $\pm 15 \mu\text{M}$. A partir do ponto 6 até o ponto 8 o nitrato se comporta de maneira conservativa, visto que nesses locais durante o verão têm uma influência muito grande da salinidade (em torno de 25) e segundo Windom et al. (1999), o nitrato possui um comportamento conservativo na faixa de salinidade de 10 a 30.

Já durante os meses de inverno, onde as descargas dos rios são maiores e conseqüentemente uma maior carga de material é adicionada, não existe uma tendência definida da concentração de nitrato, pois ao mesmo tempo em que esse nitrato é adicionado pelos tributários pode ser removido pela denitrificação ou pelo fitoplâncton, embora este tenha como preferência pela assimilação de nitrogênio na forma amoniacal. Em geral, a maior remoção do nitrato se dá no sedimento, já que a denitrificação ocorre principalmente em ambientes menos ricos em oxigênio.

Já para o amônio, nos meses de verão seu comportamento se assemelhou ao do nitrato, com um decréscimo do ponto 1 ao 6. Porém esse comportamento tem origem distinta, pois nos meses de verão a atividade fitoplanctonica é maior, tendo em visto que esta é a forma do nitrogênio mais assimilável pelo plâncton (RILEY et al., 1981). Comportamento contrário é observado nos pontos 6 ao 8, onde a concentração de amônio aumenta, pois em regiões de salinidade mais altas como o caso das estações 6, 7 e 8 o nitrogênio é regenerado na forma de amônio.

Durante os meses de inverno como setembro, as concentrações de amônio são maiores que as verificadas no verão (Figura 8), pois é menor a atividade do fitoplâncton, isso também se justifica porque os maiores "inputs" desse constituinte se dão nessa época, apesar de no mês de setembro em específico o "input" não ter sido o maior, deve-se levar em conta o tempo de residência desse na lagoa, que é cerca de 38 dias, valor obtido pelo modelo, ou seja, as concentrações observadas em setembro têm como influência os "inputs" de agosto.

Nos resultados da simulação do nitrogênio total, pode-se observar que as formas inorgânicas dissolvidas são a menor fração desse nutriente, quando comparado com a forma orgânica. As formas inorgânicas se dividem da seguinte forma: nitrato contribui com cerca de 5,5% do nitrogênio total. Enquanto que o amônio participa com 5%, totalizando 10,5% da quantidade de nitrogênio total, valor semelhante ao observado na Baía da Flórida, cerca de 8,9% (FOURQUIREAN et al., 1993).

Assim determinasse que o 89,5% do nitrogênio está na forma orgânica, proveniente das mais variadas fontes, transporte pelos tributários, fontes antropogênicas, origem bacteriana e de restos orgânicos da flora do

sistema, estas fontes são comuns a diversos ambientes semelhantes à Lagoa dos Patos, como a baía de Chesapeake (BAIRD et al., 1995).

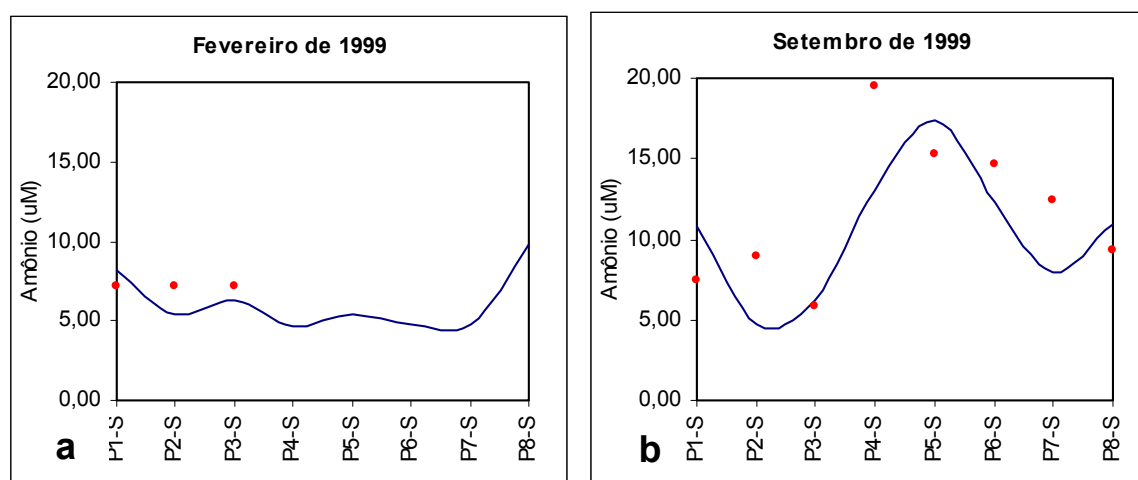


Figura 8: Distribuição do amônio ao longo das estações de amostragem no mês de fevereiro (a) e setembro (b). Pontos: concentração do amônio medida em campo; Linha: concentração do amônio simulada.

CONCLUSIONS

Os modelos FLOW e WAQ foram validados, apresentando bons resultados. Apesar de alguns desvios terem sido percebidos, são justificados pela ausência de dados mais precisos para alimentá-lo. A avaliação do comportamento do material em suspensão demonstrou que a sedimentação é o processo predominante na lagoa, em função da própria configuração lagunar, com exceção de períodos onde os ventos foram mais intensos. Apesar da tendência de sedimentação ao longo da lagoa, apenas é percebido o assoramento dos canais de navegação do estuário, onde eventualmente é necessária a dragagem.

Quanto ao oxigênio dissolvido, as simulações mostraram que a ocorrência das altas concentrações presentes na coluna d'água da Lagoa dos Patos são devido ao processo físico de aeração, através da difusão do oxigênio atmosférico, que é facilitado devido a extensa superfície de contato água-ar e a reduzida profundidade da lagoa, que permite que toda a lâmina de água seja oxigenada por igual. O nitrogênio nas formas de nitrato e amônio representam uma pequena parcela no compitito geral deste nutriente. A maior fonte de nitrogênio é forma orgânica proveniente do transporte pelos principais tributários e resto orgânico da flora e fauna do sistema que compõem cerca a lagoa. Enquanto que o fosfato se apresenta como umas das principais fontes de fósforo e seu comportamento é determinado pela adsorção do fosfato pelo material em suspensão, apesar dos grandes aportes antropogênicas na região de Rio Grande. Assim pode-se concluir que no eixo principal da lagoa a qualidade da água é satisfatória, e isso se deve a capacidade de assimilação do sistema, pois nessa região existe uma grande circulação facilitando o processo de autodepuração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAIRD, D.; ULANOWICZ, R. E.; BOYNTON, W. R. Seasonal Nitrogen Dynamics in Chesapeake Bay: a Network Approach. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. v.41, p. 137-162, 1995.

BALLS, P. W.; BROCKIE, N.; DOBSON, J.; JONHSTON, W. Dissolved Oxygen and Nitrification in the Upper Forth Estuary During Summer (1982-92): Patterns and Trends. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. v.42, p. 117-134, 1996.

BURTON, J. D. Basic Properties and processes in estuaries chemistry. IN: BURTON, J. D.; LISS, P. S. **Estuarine Chemistry**. London: Academic Press, 1976. p. 1 - 36.

FITZPATRICK, J.; IMHOFF, J. Water Quality Models: A Survey and Assessment. **Project 99 - WSM - 5 by Water Environment Research Foundation**. v.102, 2001.

FOURQUREAN, J. W.; JONES, R. D.; ZIEMAN, J. C. Processes Influencing Water Column Nutrients Characteristics and Phosphorous Limitation of Phytoplankton Biomass in Florida Bay, FL, USA: Interferences from Spatial Distributions. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. v.36, p. 295-314, 1993.

JORGENSEN, S. E. **Fundamentals of Ecological Modeling**. Amsterdam: Elsevier, 1994.

MENDONÇA, A. S. F. Desenvolvimento de sistema de suporte à decisão para subsídio à outorga de uso de água de rios, lagos e reservatórios considerando fontes pontuais e difusas. IN: **Edital CT-HIDRO 01/2001**. 2001. p.

NIENCHESKI, L. F.; BAUMGARTEN, M. G.; FILMANN, G.; WINDOM, H. L. Nutrients and Suspended Matter Behavior in the Patos Lagoon Estuary (Brazil). IN: PERILLO, G. M. E.; PICCOLO, M. C.; PIZO-QUIVIRA, M. P. **Estuaries in South America**. Berlim: Springer, 1999. p. 67 - 81.

PEREIRA, R. S. **Processos que regem a qualidade da água da Lagoa dos Patos, segundo o modelo Delft3D**. 2003. 149p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Fundação Universidade Federal do Rio Grande, 2003.

POSTMA, H. Sediment Transport and Sedimentation. IN: OLAUSSON, E.; CAIO, I. **Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries**. New York: John Willey, 1980. p. 86 - 153.

RILEY, J. P.; CHESTER, R. **Introduction to Marine Chemistry**. London: Academic Press, 1981. 465p.p.

SANDERS, R.; KLEIN, C.; JICKELLS, C. Biogeochemical Nutrients Cycling in the Upper Great Ouse Estuary, Norfolk, U.K. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. v.44, p. 543-555, 1997.

SCHONNOR, J. **Environmental Modeling**. Wiley Interscience, 1996.

TIAN, R. C.; HU, F. X.; MARTIN, J. M. Summer Nutrient Fronts in the Changjiang (Yantze River) Estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. v.37, p. 27-41, 1993.

TUCCI, C. E. M. Modelos de qualidade de água em reservatórios. IN: WROBEL, L. C. et al. **Métodos Numéricos em recursos hídricos**. Rio de Janeiro: ABRH, 1989. p. 380.

WANG, P. F.; MATIN, J.; MORRISON, G. Water Quality and Eutrophication in Tampa Bay, Florida. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. v.49, p. 1-20, 1999.

WIERGERT, R. G. Simulation models of ecosystems . IN: **Annual Review of Ecology and Systematics**. 1975. p. 311 - 338.

WINDOM, H. L.; NIENCHESKI, L. F.; SMITH, R. G. Biogeochemistry of Nutrients and Trace Metals in the Estuarine Region Patos Lagoon (Brazil). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. v.48, p. 113-123, 1999.

ZARZUR, S. **Consumo de oxigênio pelo sedimento e fluxos de regeneração bêntica de nutrientes nas áreas rasas do estuário da Lagoa dos Patos**. 2001. 142p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física, Química e Biológica) - Fundação Universidade Federal do Rio Grande, 2001.