

Avaliação da qualidade da água da Lagoa dos Patos a partir de um modelo matemático

Régis S. Pereira¹, Luis Felipe H. Niencheski²

¹ Mestrando de Engenharia Oceânica – FURG, Rio Grande, RS –
regissp@vetorial.net

²Departamento de Química – FURG, Rio Grande, RS – 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 relativos ao oxigênio dissolvido e ao material em suspensão, utilizando o modelo Delft3D. A aplicação do modelo de qualidade de água avaliou as seguintes variáveis: a) material em suspensão: apresentou como processo dominante a sedimentação; b) oxigênio dissolvido: apresentou como principal processo a aeração que corresponde a 80% do oxigênio total. Portanto, a avaliação do comportamento do material em suspensão demonstrou que a sedimentação é o processo predominante em função da configuração lagunar. Enquanto que, as altas concentrações de oxigênio na lagoa são conseqüências do processo físico de aeração.

PALAVRAS-CHAVE: Lagoa dos Patos, Qualidade da água, Delft3D

1. INTRODUÇÃO

O uso dos recursos hídricos envolve modificações das condições naturais da bacia hidrográfica. A gestão destes recursos deve ser realizada com o mínimo dano ao meio ambiente. Como controlar os diferentes usos e a distribuição da água, com o menor dano a natureza? Esta questão está dentro de todos os projetos de desenvolvimento dos recursos naturais. Os procedimentos que melhor respondem a esta questão devem utilizar todas as ferramentas disponíveis para antever os potenciais impactos que as ações planejadas possam provocar [18].

Como ferramentas técnicas, surgem os modelos matemáticos como agentes facilitadores deste processo, utilizados no suporte à decisão entre alternativas de gestão ou uso dos recursos naturais [11]. Os modelos matemáticos são técnicas que permitem representar alternativas propostas e simular condições reais que poderiam ocorrer dentro de uma faixa de incertezas, inerentes ao conhecimento técnico científico [18].

Segundo Schonnor [17] 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 [21] e Jorgensen [10] 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

A Lagoa dos Patos é uma das maiores lagoas costeiras do mundo, porém, aplicações de modelos de qualidade de água são restritas à aspectos isolados, como a circulação [3, 8], balanços globais de constituintes [13] ou ainda aplicações a locais específicos da lagoa, como o Rio Guaíba [6] e o estuário [7].

Tendo em vista que todos os processos, sejam eles físicos, químicos ou biológicos, ocorrem simultaneamente e ainda interagem entre si, se faz necessário à preparação de um modelo o mais abrangente possível para a Lagoa dos Patos. Este trabalho tem o objetivo de representar a hidrodinâmica, assim como explicar o comportamento de alguns dos parâmetros de qualidade de água do eixo principal desta lagoa.

2. ÁREA DE ESTUDO

A Lagoa dos Patos esta localizada na costa sul do Brasil (Figura 1), região de mínima influência da maré. A amplitude média da maré é 0,47 m e predominante semi-diurna. O canal de entrada da Lagoa dos Patos age como filtro, atenuando a amplitudes das ondas de maré que avançam para dentro do estuário. Devido à sua grande superfície e seu volume, velocidades máximas de corrente no corpo da lagoa são de aproximadamente 0,3 m/s, com freqüente inversão de direção. Entretanto, no canal de saída da água a velocidade das correntes podem atingir 1,7-1,9 m/s depois de prolongados períodos de chuva [9].



Figura 1: Localização da Lagoa dos Patos e seus principais tributários.

Os regimes de fluxo na lagoa 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) [5].

Entre os parâmetros de qualidade de água podemos destacar o material em suspensão e o oxigênio dissolvido, que serão objeto de estudo deste trabalho. As principais fontes de material em suspensão são os rios da porção norte da lagoa (Jacuí, Sinos, Gravataí, Caí, Taquari), na parte central o Rio Camaquã, na parte sul o Canal São Gonçalo (Figura 1) e o processo de erosão são os responsáveis pela adição de material em suspensão. Além disso, a interação entre as características geomorfológicas do estreito canal de entrada e a entrada de água salgada do oceano durante épocas de fortes ventos de SW, favorece a ressuspensão do sedimento depositado no fundo da lagoa [14]. Como resultado, a carga de material em suspensão na Lagoa dos Patos tende a aumentar em direção ao oceano e depende fortemente das características de precipitação da bacia hidrográfica que a cerca. Apesar da alta carga de material em suspensão no canal de acesso (cerca de 50 mg/L) e em ambientes rasos (30 mg/L), o oxigênio dissolvido na água tende a ser próximo da saturação ou até mesmo da supersaturação, especialmente próximo ao canal onde há intensa atividade hidrodinâmica [13].

3. MODELO UTILIZADO

O Delft3D é um pacote de modelos para ambientes aquáticos, que possibilita a representação dos sistemas através de módulos, entre estes podemos destacar o FLOW, que é um modelo hidrodinâmico e o WAQ, modelo de qualidade de água.

O módulo FLOW consiste em um modelo que resolve as equações hidrodinâmicas do escoamento e do transporte de substâncias para os casos bidimensionais e tridimensionais, utilizando o método de diferenças finitas. Este modelo fornecerá as condições hidrodinâmicas que serão utilizadas pelo módulo de qualidade de água.

Já o módulo WAQ é um modelo tridimensional para a representação da qualidade de água de ambientes naturais e artificiais. Este modelo resolve as equações de advecção-difusão-reação para uma grade computacional pré-definida e para uma larga quantidade de substâncias, utilizando o método de elementos finitos. O WAQ permite grande flexibilidade nas substâncias a serem modeladas, assim como nos processos a serem considerados [1].

As substâncias possíveis de serem modeladas são: substâncias conservativas (salinidade, cloretos, traçadores), substâncias com decaimento, material em suspensão, temperatura, nutrientes, matéria orgânica, oxigênio, bactérias, metais pesados e micro-poluentes orgânicos. O módulo WAQ permite o usuário especificar uma larga quantidade de processos físicos, químicos, biológicos e ecológicos. Alguns dos processos passíveis de modelagem são: sedimentação e ressuspensão, reaeração de oxigênio, crescimento e mortalidade de algas, mineralização da matéria orgânica, nitrificação e denitrificação, adsorção de metais, volatilização de micro-poluentes, etc.

O módulo permite simular tanto substâncias e processos individualmente, como fazendo qualquer tipo de associação, ou até mesmo modelar um sistema aquático com todos os processos e substâncias.

4. PREPARAÇÃO DO MODELO

A construção da grade computacional da Lagoa dos Patos 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 (Figura 2), com o objetivo de suavizar as margens da lagoa, facilitando a modelagem da circulação hidrodinâmica. A resolução final da grade utilizada foi de 400x20 células. 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). 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 e do oxigênio dissolvido, no Rio Guaíba, no Rio Camaquã e no Canal do São Gonçalo, além do aporte do canal de ligação entre estuário e a lagoa.

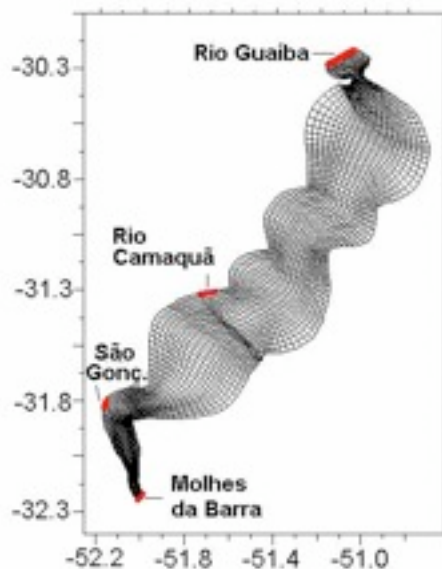


Figura 2: Grade e localização das condições de contorno.

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 3a). 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 aplicação do modelo de qualidade de 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 3b).

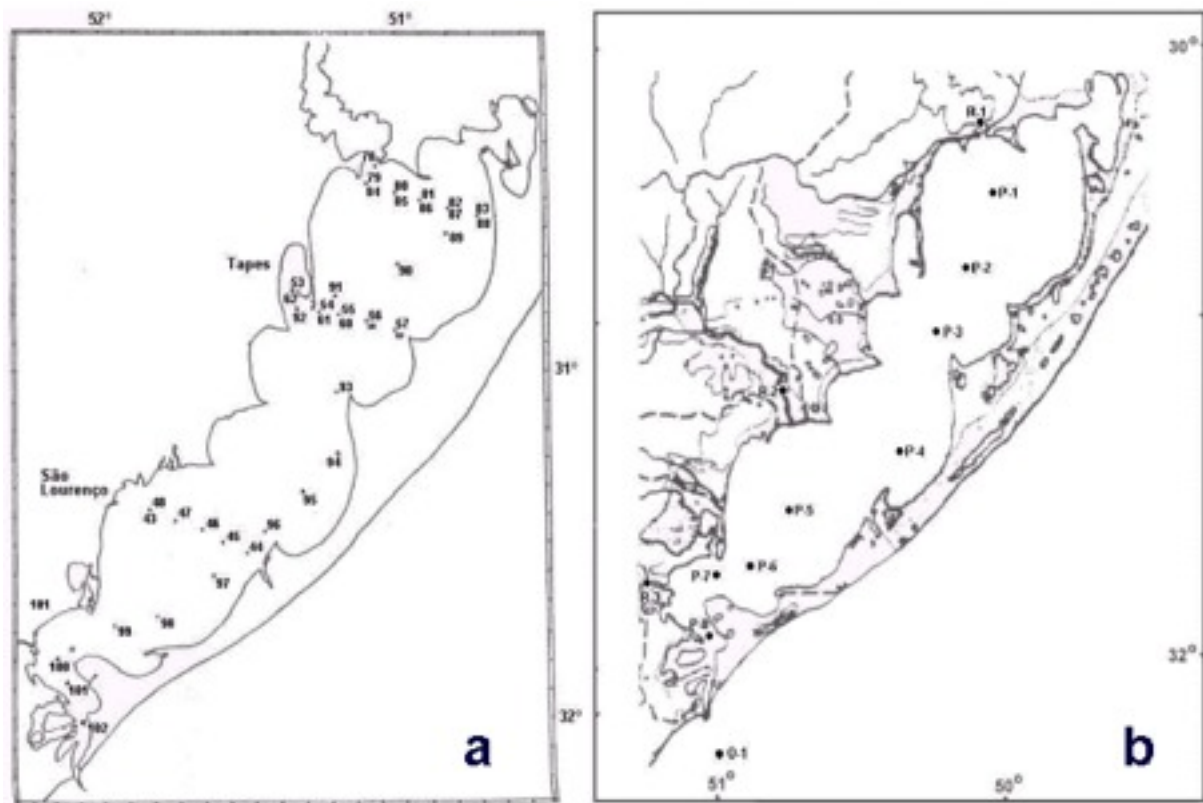


Figura 3: a) Estações de amostragem do Projeto Espinha de Peixe, b) Estações de amostragem do Programa Mar de Dentro.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação dos processos relativos ao material em suspensão e ao oxigênio dissolvido foi feita na seguinte seqüência: a) validação do modelo hidrodinâmico; b) validação do modelo de qualidade de água; c) aplicação do modelo de qualidade.

5.1. 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, procedimento já utilizado por Wang [19] na Baía de Tampa, Flórida.

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. Entre dezembro de 1999 a janeiro de 2000, valores altos de salinidade (maiores que 25) foram encontrados, enquanto que deveriam ser obtidos valores entre 10 e 15. Isso 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. Outra explicação pode residir no fato do modelo ter sido abastecido por valores médios das descargas fluviais. Isto pode fazer com que as descargas de água doce, sejam sub ou superestimadas em um determinado momento em relação ao valor real respectivo.

Na região próxima ao Rio Camaquã os resultados simulados são mais similares 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.

5.2. 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 a validação do modelo de qualidade de água foram utilizados dados médios anuais de descarga e ventos. Porém de forma geral o modelo representou a tendência do comportamento dos parâmetros avaliados, conforme mostra a Figura 4.

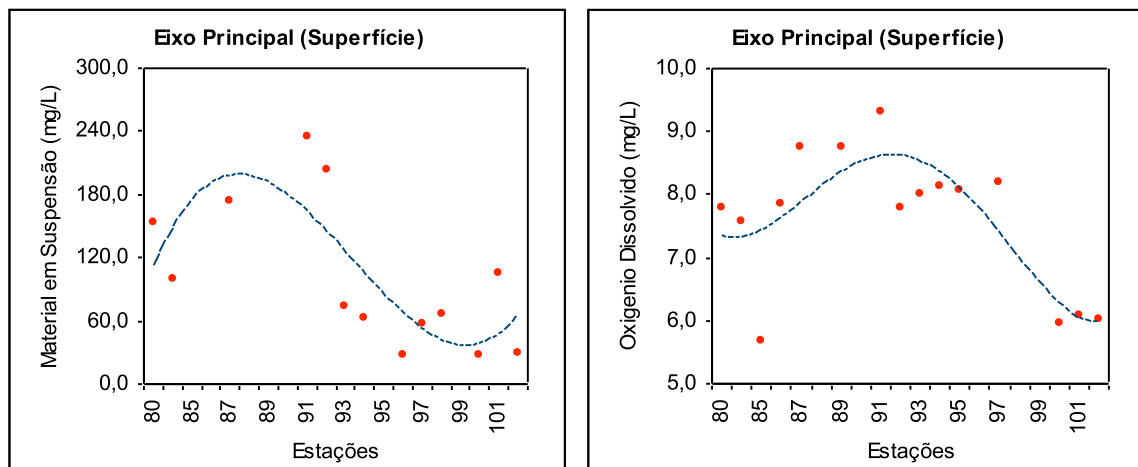


Figura 4: Distribuição das concentrações de superfície do oxigênio dissolvido e do material em suspensão ao longo do eixo principal da lagoa. Pontos: concentrações medidas em campo; linha: concentrações simuladas.

Já no transecto 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 5). Nesta região a validação ficou prejudicada, devido a existência de poucas estações de amostragem.

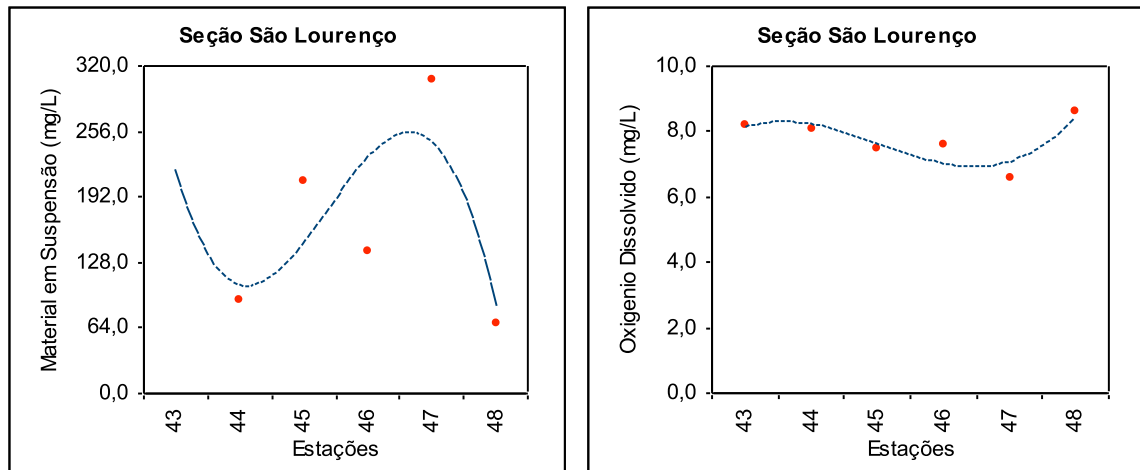


Figura 5: Distribuição das concentrações do oxigênio dissolvido e do material em suspensão ao longo da seção São Lourenço. Pontos: concentrações medidas em campo; Linha: concentrações simuladas.

Os resultados das simulações mostram que na região de Tapes, o modelo demonstra mais precisão, pois a tendência do comportamento dos parâmetros foi obtida (Figuras 6). 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.

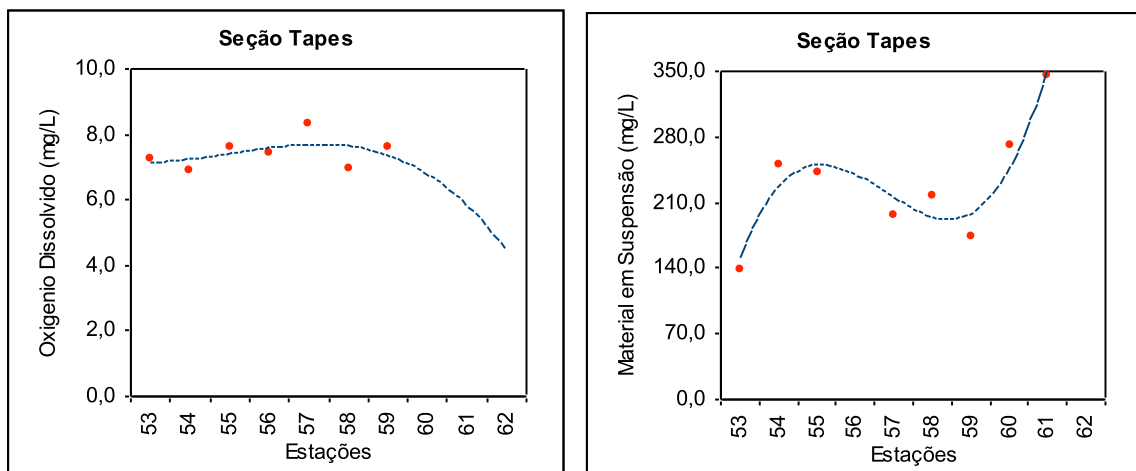


Figura 6: Distribuição das concentrações do oxigênio dissolvido e do material em suspensão ao longo da seção Tapes. Pontos: concentrações medidas em campo; Linha: concentrações simuladas.

5.3. Aplicação do modelo de qualidade de água

5.3.1. Material em Suspensão

Para o entendimento e discernimento dos processos que regem o comportamento do material em suspensão (ressuspensão e sedimentação) na Lagoa dos Patos, apenas os aportes de material em suspensão (MES) 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.

Não foi observado variação vertical nas concentrações do material em suspensão tanto nas medidas de campo quanto nos valores simulados.

As simulações mostram que o processo de sedimentação predomina do ponto 1 ao 6 (Figura 7). 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. Portanto, descargas maiores resultam em velocidades de correntes maiores. Aliado a isso, entre os 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. Já 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. Assim sendo, o vento exerce uma forte influência na ressuspensão do MES na lagoa [14].

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 7). 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 [12].

Entretanto, esses resultados evidenciam que nesta região poderiam estar acontecendo outros processos que não a ressuspensão, tais como a floculação e adsorção [4, 15]. 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 [4].

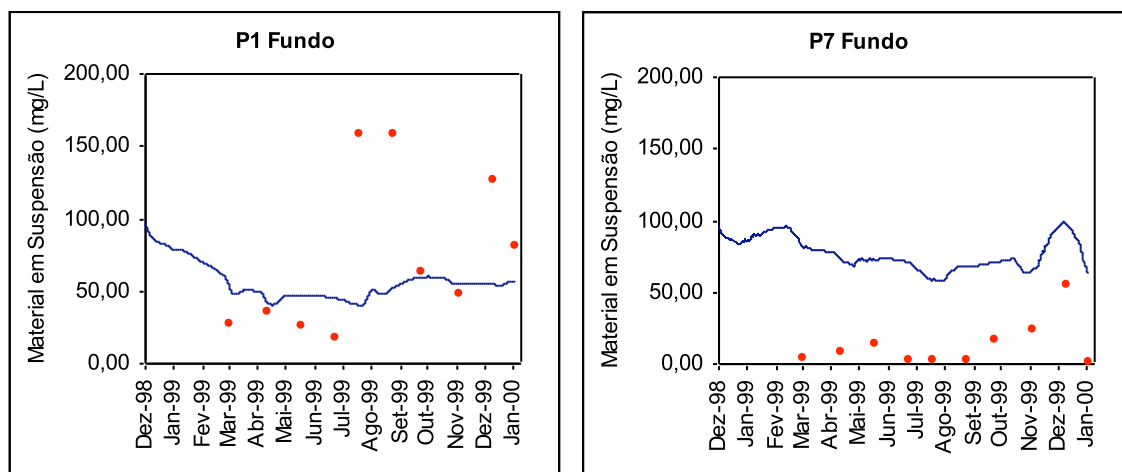


Figura 7: Distribuição do material em suspensão ao longo do tempo nas estações P1 e P7. Pontos: concentração medida em campo; Linha: concentração simulada.

Nas regiões sul e estuarina foi observado uma leve tendência de aumento do MES com aumento da salinidade, onde em meses de enchente, os valores de MES cresceram com o aumento da salinidade, pois a intrusão de água salgada e a geomorfologia desta região, que termina num estreito canal de ligação da lagoa com o oceano, favorecem a ressuspensão do sedimento de fundo [12].

5.3.2. 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 [2]. Portanto, fica evidente que as altas concentrações de oxigênio não se devem a denitrificação pois em todas as estações e em quase todos os cruzeiros realizados os níveis de OD foram acima da curva de 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 [16].

A presença constante de altos níveis de OD pode ser atribuída ao pequeno aporte de poluentes orgânicos na lagoa. Quando o processo de aeração é aplicado (Figura 8a), torna-se evidente que este processo realmente é o responsável pelas altas concentrações de OD, 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 [12], mantendo a concentração de OD em níveis de super saturação, condição característica da Lagoa dos Patos, raramente caindo abaixo da saturação com exceção de algumas áreas marginais [22]. 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 profundas e, como a Lagoa dos Patos é uma lagoa rasa, todas suas lâminas ficam com altos índices de oxigênio.

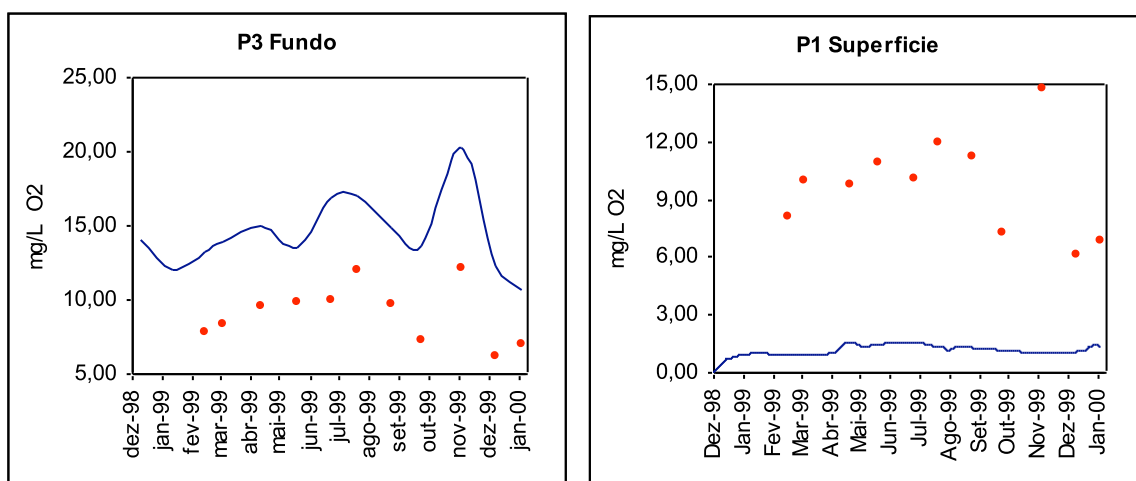


Figura 8: a) Distribuição do OD ao longo do tempo na estação P3. Pontos: concentração do OD medida em campo; Linha: concentração simulada do OD adicionado pela reaeração; b) Distribuição do OD ao longo do tempo na estação P1. Pontos: concentração do OD medida em campo; Linha: concentração simulada do OD retirado pela DBO.

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, dentro da faixa encontrada por Watson [20] para o estuário de Forth (1-3 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 8b), isso se deve à alta capacidade de autodepuração da Lagoa dos Patos.

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, característica semelhante já observada no estuário de Forth [2]. 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 [23] 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 a ser considerado.

6. CONCLUSÕES

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, e não propriamente por uma falha do modelo, como foi o caso da descarga dos aportes e o vento aplicado a lagoa.

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 assorimento 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.

REFERÊNCIAS

1. Delft3D, WAQ, *User Guide* 1999. 200p.
2. 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.
3. BONILHA, N. F. *Circulação em lagos: um modelo matemático simplificado aplicado ao Rio Guaíba e Lagoa dos Patos*. 1974. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1974.
4. 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.
5. CALLIARI, L. J. *Aspectos sedimentológicos e ambientais na região estuarial da Lagoa dos Patos*. 1980. 190 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1980.
6. CASALAS, A. B. Modelo matemático de circulação e de qualidade das águas do estuário do rio Guaíba. IN: *Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos*. São Paulo: ABRH, 1985. p. 419 - 433.
7. FERNANDES, E. H. L.; NIENCHESKI, L. F. Um modelo de caixas simplificado para o estudo dos processos de transporte na região estuarina da Lagoa dos Patos (RS-Brasil). *Atlântica*. v.20, p. 73-85, 1998.
8. FETTER, A. R. H. *Estudo da circulação e processos de mistura da Lagoa dos Patos através do modelo de circulação oceânica da Universidade de Princeton (POM)*. 1998. Oceanografia (Mestrado) - Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 1998.
9. GARCIA, C. A. E. Hydrographic Characteristics. IN: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J. P. *Subtropical Convergence Environmental*. Germany: Springer-Verlag, 1997. p. 20 - 24.

10. JORGENSEN, S. E. *Fundamentals of Ecological Modeling*. Amsterdam: Elsevier, 1994.
11. 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.
12. 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*. Berlin: Springer, 1999. p. 67 - 81.
13. NIENCHESKI, L. F.; WINDOM, H. L. Nutrient Flux and Budget in Patos Lagoon estuary. *The Science of the Total Environment*. v.149, p. 53-60, 1994a.
14. NIENCHESKI, L. F.; WINDOM, H. L.; SMITH, R. Distribution of Particulate Trace Metal in Patos Lagoon Estuary (Brazil). *Marine Pollution Bulletin*. v.28, n.2, p. 96-102, 1994b.
15. POSTMA, H. Sediment Transport and Sedimentation. IN: OLAUSSON, E.; CAIO, I. *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. New York: John Wiley, 1980. p. 86 - 153.
16. 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.
17. SCHONNOR, J. *Environmental Modeling*. Wiley Interscience, 1996.
18. TUCCI, C. E. M. *Modelos Hidrológicos*. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS/ABRH, 1998. 669p.
19. 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.
20. WATSON, F. *Investigation into key chemical fluctuations and relationships in the Forth estuary with particular reference to suspended solids, particulate organic carbon, biochemical oxygen demand (BOD) and dissolved oxygen*. 1992. Dissertação (Mestrado) - Napier University, 1992.
21. WIERGERT, R. G. Simulation models of ecosystems . IN: *Annual Review of Ecology and Systematics*. 1975. p. 311 - 338.
22. 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.
23. ZARZUR, S. *Consumo de oxigênio pelo sedimento e fluxos de regeneração bêntica de nutrientes nas áreas rasas do estuário da Lagoa dos Patos*. 2001. 142 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física, Química e Biológica) - Fundação Universidade Federal do Rio Grande, 2001.