

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ALTERAÇÃO DOS MOLHES DA BARRA DE RIO GRANDE SOBRE A CIRCULAÇÃO DO ESTUÁRIO DA LAGOA DOS PATOS – RS

ELISA H. L. FERNANDES¹, RENATO O. CECÍLIO² e RAFAEL V. SCHILLER²

¹Professora do Departamento de Física – FURG; Doutora em Ciência Marinha; dfsehf@fug.br

²Alunos do Curso de Oceanologia – FURG; rocecilio@hotmail.com e ocervs@super.furg.br

RESUMO

Com o objetivo de avaliar o impacto da extensão dos Molhes da Barra sobre a circulação do estuário da Lagoa dos Patos foram realizadas simulações numéricas com o modelo TELEMAC para a investigação de três cenários: 1) configuração atual; 2) extensão dos molhes; 3) extensão e aprofundamento do canal para 20m. Os resultados do presente trabalho mostram que a alteração da configuração dos Molhes da Barra de Rio Grande se refletirá no padrão de circulação do estuário na forma de aumento dos fluxos de vazante e diminuição dos fluxos de enchente, diminuição da distância atingida pela água salgada no interior do estuário, e aumento do nível de água no interior do estuário.

PALAVRAS-CHAVE: modelagem numérica, dragagem, morfologia, estuário, Lagoa dos Patos

1 – INTRODUÇÃO

Dos três Portos Organizados do Estado do Rio Grande do Sul, o porto do Rio Grande é o mais importante. Além de ser o único porto marítimo do Estado, sua localização geográfica é privilegiada, na região de maior profundidade do Atlântico Sul, e tem conexão com todo o Estado, o País e diversos países do Mercosul. Além disso, o Porto do Rio Grande possui diversos terminais especializados com completa infraestrutura operacional, apresenta alta capacidade de expansão e está totalmente adaptado aos novos conceitos portuários internacionais.

Nos últimos anos, a combinação entre fatores como a demanda ambiental e comercial e a necessidade de manutenção e expansão da atual capacidade do Porto do Rio Grande gerou a necessidade de realização de obras portuárias visando à melhoria das condições de navegabilidade do seu canal de acesso. Assim, foram propostas alterações que incluem o prolongamento dos molhes leste e oeste na entrada do estuário da Lagoa dos Patos em 500 e 900m, respectivamente, e o aprofundamento o canal de acesso de 14 para 20m.

Trabalhos anteriores demonstram que a influência combinada da entrada de água doce, do vento e da maré atuando dentro do estuário da Lagoa dos Patos resulta em padrões específicos de circulação [5,6,7,8,9,14,16]. Dessa forma, qualquer fator que afete a hidrologia do sistema representa um risco potencial de impactos relevantes, podendo resultar em modificações no transporte de sedimentos e nutrientes, na distribuição de larvas de peixes, crustáceos, moluscos, fitoplâncton e zooplâncton, na distribuição de salinidade e temperatura e nas trocas entre a região estuarina e a zona costeira adjacente. Em última instância, a alteração desses padrões poderá se refletir na redução da produtividade do estuário.

O objetivo deste trabalho é avaliar o efeito da obra portuária de alteração dos Molhes da Barra do Rio Grande sobre as trocas entre o estuário da Lagoa dos Patos e a região costeira adjacente e sobre o padrão de distribuição da salinidade nesta região. Esta avaliação será feita por meio de simulações numéricas bidimensionais com o modelo hidrodinâmico TELEMAC (Laboratoire National d'Hydraulique, EDF, França).

2 – ÁREA DE ESTUDO

Localizada na planície costeira do Rio Grande do Sul, a Lagoa dos Patos (Figura 1) possui 250 km de comprimento e largura média de 40 km, cobrindo uma área em torno de 10.360 km². Estas características a tornam a maior lagoa costeira do tipo estrangulado do mundo [13]. Pode ser classificada como uma lagoa rasa, já que sua profundidade média é de 5 m. A topografia do corpo lagunar principal é caracterizada por canais naturais e artificiais (8 – 9 m), amplas áreas adjacentes (< 5 m) e sacos marginais rasos.

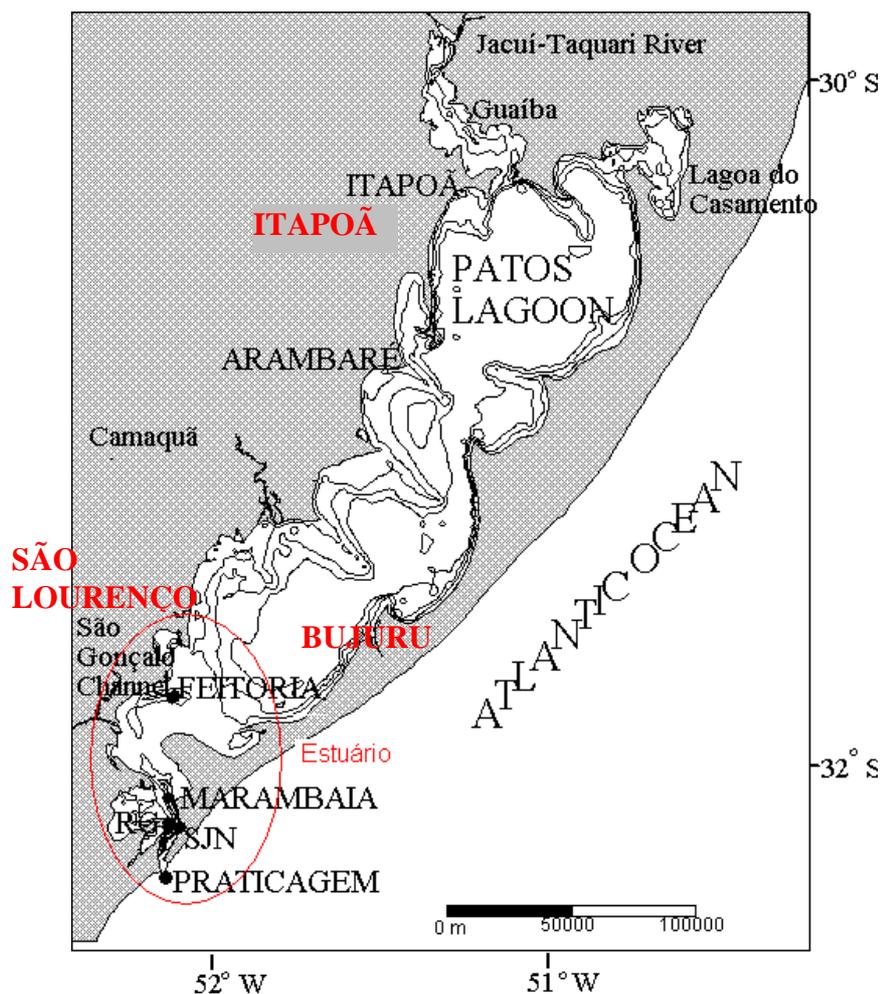


FIGURA 1 – A Lagoa dos Patos e o seu estuário. Locais em vermelho indicam estações do Projeto Mar de Dentro.

O estuário da Lagoa dos Patos (Figura 1) ocupa aproximadamente 10 % da superfície total da lagoa e é caracterizado por amplas regiões de bancos (80 %), cuja profundidade varia entre 1 e 5 m. A conexão com o Oceano Atlântico ocorre através de uma estreita entrada (750 m de largura), cujo canal de acesso possui profundidade média de 15 m e máxima de 20 m. Esse canal atua como um filtro amortecedor, confinando grande parte da influência de maré na porção afunilada do estuário e atenuando fortemente sua amplitude, como demonstrado por Fernandes et al. [6].

O limite interior para a penetração de água salgada é a 60 km da boca do estuário (Feitoria, Figura 1) e está relacionado às condições de vento e descarga fluvial, apresentando, desse modo, variabilidade sazonal. A salinidade média anual do estuário é em torno de 13, com valores instantâneos variando de 0 a 34 [1]. O gradiente longitudinal de salinidade mais forte é sempre observado ao norte da entrada no canal. Gradientes laterais são observados onde a área transversal aumenta [5,7], e gradientes verticais podem variar desde o tipo cunha salina até bem misturado [17].

3 – METODOLOGIA

A grande variabilidade temporal e espacial da região sugere que um estudo mais detalhado da hidrodinâmica do estuário não pode ser realizado com base somente em estudos de campo, pois para tal seria necessário um grande número de observações, e o custo associado à coleta de dados é geralmente alto. Uma possível solução para a carência de dados é o uso de modelos numéricos como sofisticadas técnicas de interpolação e extrapolação de dados de campo, tanto no domínio espacial como temporal. Fernandes et al. [10] e Möller et al. [16] demonstraram a necessidade de uso de modelos numéricos bi e tridimensionais para o estudo da dinâmica do estuário da Lagoa dos Patos.

3.1 – O modelo numérico

O modelo TELEMAC foi desenvolvido pelo Laboratoire National d’Hydraulique (LNH) da companhia Electricité de France (EDF), na França. É um modelo hidrodinâmico baseado na técnica de elementos finitos e

apresenta uma estrutura modular, em que os resultados hidrodinâmicos podem ser usados em outros módulos do sistema para lidar com qualidade de água, transporte de sedimento e modelos de ondas.

O TELEMAC-2D usa um sistema cartesiano como referência (x , y , z), no qual os eixos x e y formam um plano horizontal e a gravidade atua na direção negativa de z . Seu equacionamento está baseado na equação da continuidade da massa e nas duas equações do momentum, ambas integradas na vertical e derivadas das equações tridimensionais de Navier-Stokes. Um termo de atrito de Reynolds é adicionado a elas para representar o atrito interno provocado por flutuações na velocidade sobre sua média. Isso torna o sistema não-resolvível, gerando a necessidade de um esquema de fechamento turbulento. Nesse modelo, é aplicado o conceito de viscosidade turbulenta de Boussinesq para resolver esse problema. O modelo utiliza ainda as aproximações de equilíbrio hidrostático, velocidades verticais desprezíveis e impermeabilidade da superfície e do fundo. Hervouet e Van Haren [11, 12] apresentam detalhes sobre o modelo.

As condições de contorno do modelo consideram que nos contornos fechados não há fluxo de água através do fundo e de faces laterais, e existe uma condição de livre deslizamento nas paredes para todos os vetores tangentes a estas. Nos contornos abertos, o modelo considera a altura da superfície de água livre e a condição de contorno de superfície é o estresse calculado a partir da velocidade do vento e do coeficiente da influência do vento. A condição de atrito no fundo é variável, uma vez que o coeficiente de atrito é prescrito. Para cada variável principal (h , U e V), o usuário determina se há um valor prescrito ou não (livre) em cada ponto da grade.

3.2 – Dados batimétricos

Os dados utilizados para a geração das grades batimétricas foram digitalizados a partir das cartas náuticas 2140 (Lagoa dos Patos), 2101 (Porto do Rio Grande), 2102 (São José do Norte ao Canal da Setia), 2103 (da Barra do Canal São Gonçalo às Porteiras) e 2106 (Saco do Rincão e proximidades) da DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação). A digitalização das cartas foi feita por meio de uma mesa digitalizadora e associação ao software Auto Desk Map. Esses dados foram processados no módulo de geração de grades do modelo TELEMAC (MATISSE) visando a obter a melhor representação possível das características batimétricas da região.

3.3 – Calibração do modelo TELEMAC-2D

Para que um modelo numérico possa ser considerado adequado para o estudo de processos hidrodinâmicos em uma determinada região, deve ser previamente calibrado e validado. Não há, entretanto, um procedimento padrão para calibração de modelos numéricos [2, 3]. O procedimento para calibração do modelo TELEMAC-2D para a Lagoa dos Patos utilizado neste trabalho está baseado na metodologia proposta por Fernandes et al. [9], que consiste na comparação entre os dados medidos no ambiente e os resultados de simulações numéricas. O ajuste entre as séries é feito por meio da variação dos coeficientes de atrito com o fundo e do vento.

Os dados de campo utilizados para a calibração do modelo foram obtidos durante o Projeto Mar de Dentro, de 01/05/1999 a 01/10/1999. Entretanto, devido à falta de séries temporais medidas no interior do estuário, foi necessária a calibração do modelo para todo o corpo lagunar da Lagoa dos Patos, com a subsequente extrapolação dos resultados obtidos para a região estuarina.

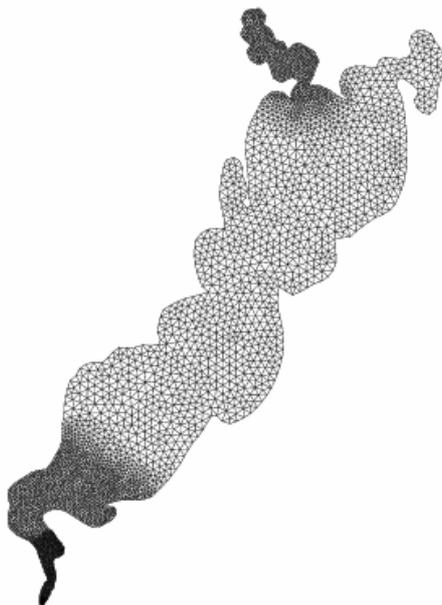


FIGURA 2 – Malha de 8.000 elementos utilizada na calibração do modelo

Nas simulações realizadas visando à calibração do modelo para a lagoa, foram utilizadas séries temporais

de elevação em três estações no interior da lagoa: Itapuã, São Lourenço e Bujuru (Figura 1). Os experimentos numéricos da calibração do modelo para a Lagoa dos Patos foram realizados com base numa grade de elementos finitos de 8.000 elementos (Figura 2).

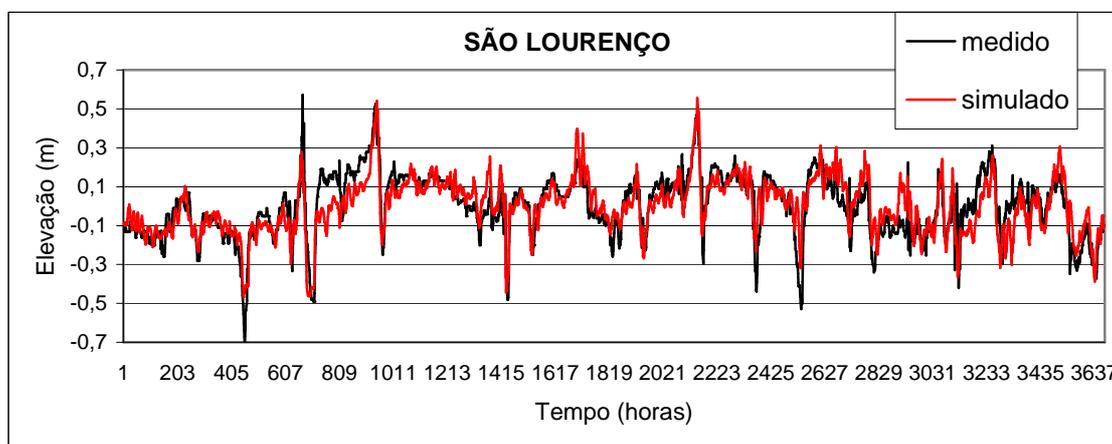
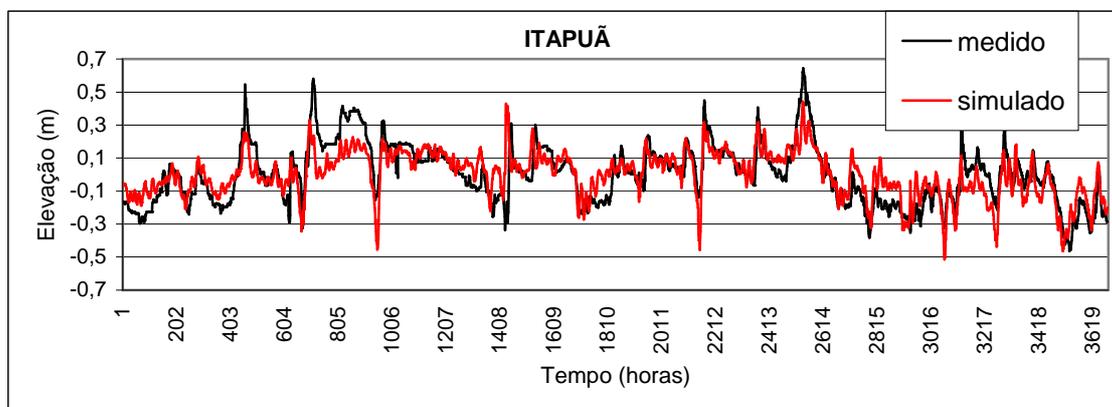
Os dados utilizados como condição de contorno na fronteira oceânica do modelo consistem de séries temporais de elevação medidas na Praticagem (Figura 1). A condição de contorno superficial foi obtida por meio de séries temporais de velocidade e direção do vento medidas no mesmo local. O somatório da vazão média diária dos tributários do rio Guaíba (Figura 1), disponível na página da Agência Nacional das Águas (www.ana.gov.br), foi utilizado como condição de contorno no limite superior da lagoa. Neste trabalho foram realizados 16 testes, variando-se o coeficiente de atrito do vento (de 3×10^{-7} a 3×10^{-6}) e de atrito com o fundo (de 0,01 a 0,03).

A comparação entre as séries temporais medidas e modeladas foi efetuada utilizando-se duas formas do erro absoluto médio: 1) o método da raiz do erro médio ao quadrado (*relative mean square error*, RMSE) proposto por Willmott et al. [20]; e 2) o erro absoluto relativo à média (*relative mean absolute error*, RMAE) proposto por Walstra et al. [19] e Sutherland [18]. A melhor reprodução das medições foi obtida com coeficiente de atrito do vento de 2×10^{-6} e atrito de fundo 0,02 (Lei de Manning), em que foram encontradas diferenças de 08, 07 e 09 cm entre os dados medidos e modelados nas estações de Itapuã, São Lourenço e Bujuru (Figura 3). O RMAE calculado para estas estações foi de 0,07; 0,06; e 0,14, respectivamente, o que, segundo o critério proposto por Walstra et al. [19], indica uma reprodução excelente do modelo.

3.4 – Set-up do modelo para o estuário da Lagoa dos Patos

Os dados utilizados para as simulações do estuário abrangem o período entre 07/1999 e 08/1999, representando o cenário típico de inverno na região: elevadas descargas e a passagem de frentes meteorológicas fortes.

Na fronteira oceânica do modelo foi prescrita a série temporal de elevação do nível do mar, e no contorno aberto superficial o stress calculado a partir da velocidade e direção do vento para este período. Entretanto, a falta de dados de campo para forçar o modelo no limite superior do estuário (Feitoria, Figura 1), tornou necessária a obtenção da série temporal de elevação por meio dos resultados numéricos obtidos para as simulações da lagoa inteira. Para tal, foi traçado um transecto nas proximidades da Feitoria (Figura 1), de onde foi extraída a série temporal média de elevação com base nos resultados calculados para os 12 nós que compõe o transecto. Como a região da Feitoria apresenta forte gradiente batimétrico, também foi feita a prescrição de um perfil batimétrico teórico para a região. A Figura 4 ilustra o novo domínio em estudo.



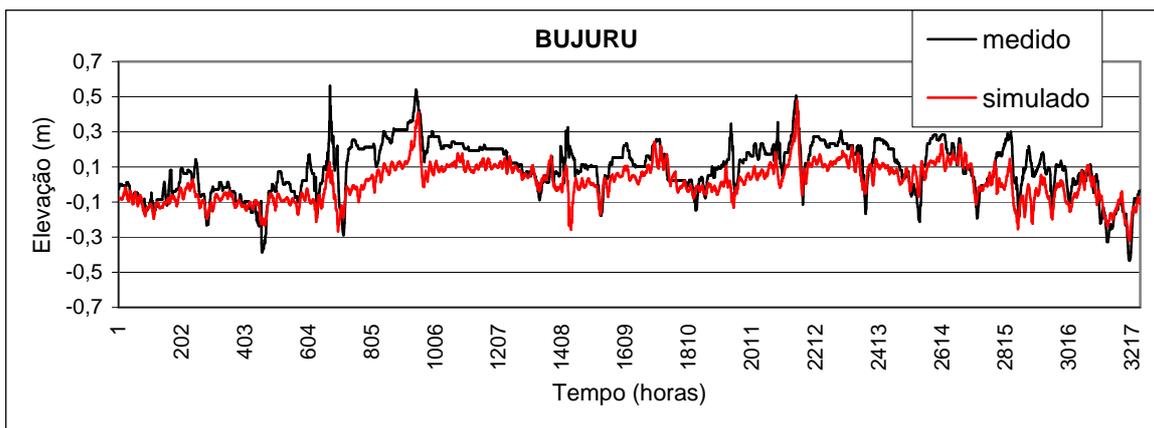


FIGURA 3 – Comparação entre as séries temporais medidas e modeladas em três pontos no interior da Lagoa dos Patos

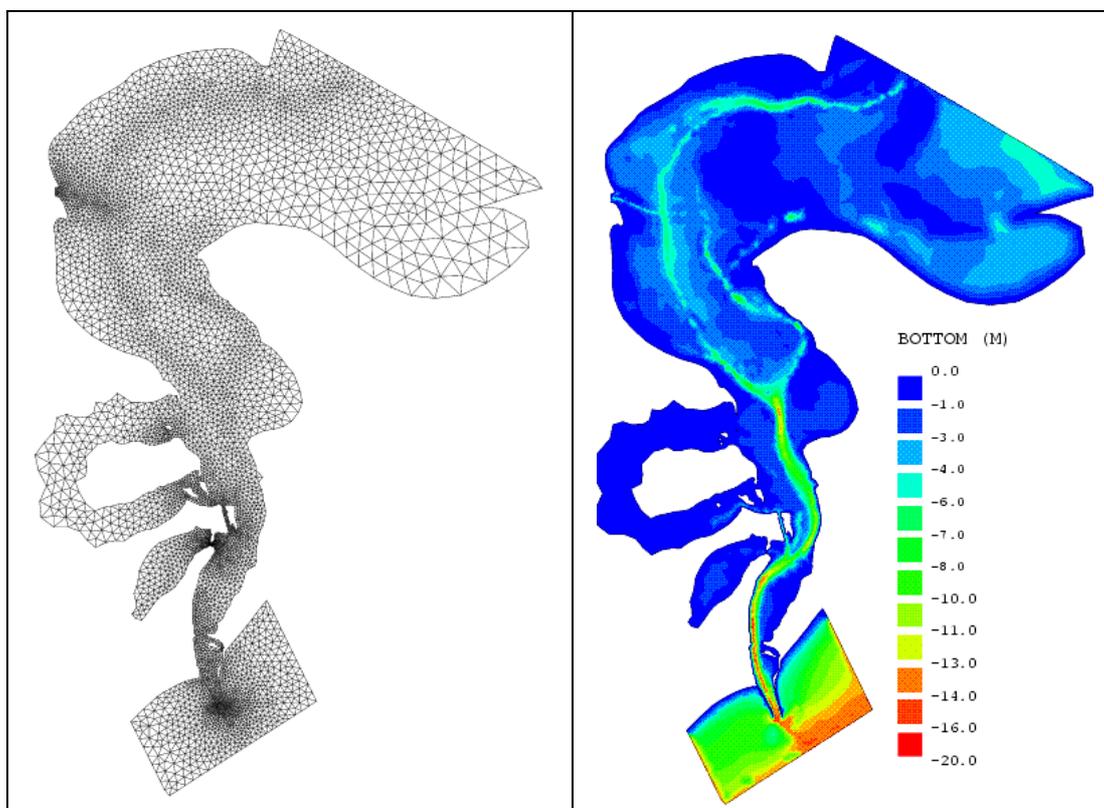


FIGURA 4 – Grade de elementos finitos (10.430 triângulos) e batimetria resultante para o estuário da Lagoa dos Patos

Com o objetivo de avaliar o impacto da extensão dos Molhes da Barra sobre a circulação do estuário da Lagoa dos Patos, foram realizadas simulações numéricas com base em três cenários distintos para a boca do estuário (Figura 5): 1) configuração atual; 2) extensão dos molhes; 3) extensão e aprofundamento do canal para 20m.

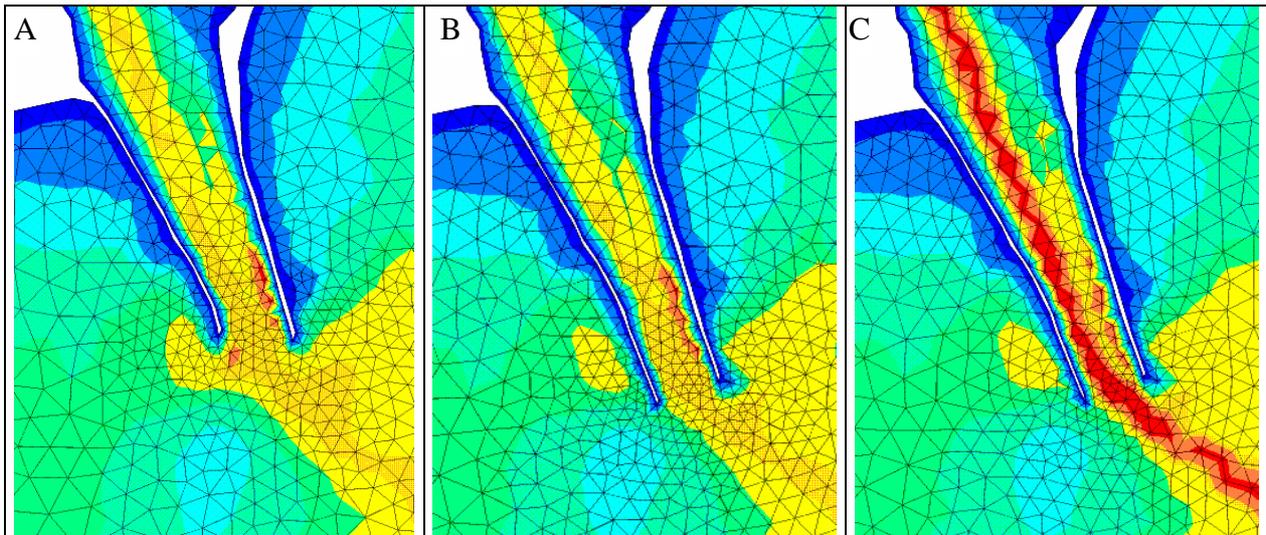


FIGURA 5 – Cenários sob investigação: A) configuração atual; B) extensão dos molhes; C) extensão e aprofundamento do canal para 20m

3.5 – Validação do modelo para o estuário da Lagoa dos Patos

A validação dos experimentos numéricos para o estuário da Lagoa dos Patos foi efetuada por meio de comparação direta de uma série temporal de velocidade de corrente medida na Praticagem (Figura 1) no período simulado, com uma série temporal de velocidade calculada com o modelo para o mesmo local (Figura 6). A reprodução do modelo foi classificada de acordo com o método proposto por Walstra et al. [19], e resultou num RMAE = 0,31, indicando que existe boa concordância entre as medições e as previsões do modelo. Estes resultados indicam que o modelo TELEMAC foi calibrado e validado com sucesso para a Lagoa dos Patos, e que pode ser utilizado para o estudo da dinâmica estuarina proposto neste trabalho.

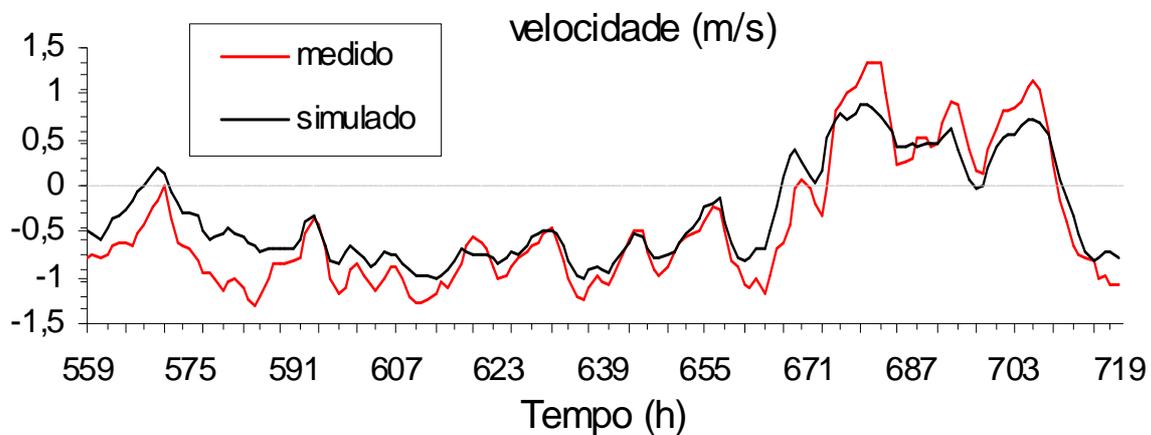


FIGURA 6 – Validação do experimento através da comparação entre velocidade de corrente medida e simulada na Praticagem

4 – RESULTADOS

Com o objetivo de avaliar o efeito da obra portuária de alteração dos Molhes da Barra do Rio Grande sobre as trocas entre o estuário da Lagoa dos Patos e a região costeira adjacente, os fluxos de enchente e vazante para cada um dos cenários sob investigação foram calculados a partir das velocidades fornecidas pelo modelo. A comparação dos resultados obtidos para cada cenário foi feita com base nos resultados calculados para um ponto localizado na Praticagem (Figura 1) durante todo o período da simulação (07/1999 – 08/1999).

Um resumo dos resultados obtidos é apresentado na Tabela 1. A comparação entre os resultados obtidos para a configuração atual dos Molhes da Barra do Rio Grande (cenário A) e a configuração que inclui o prolongamento dos molhes (cenário B) indica uma redução nos fluxos de enchente. Os fluxos calculados para o cenário C não podem ser incluídos nessa comparação, pois o aprofundamento do canal gera um aumento da área da secção e a conseqüente redução do fluxo. Uma análise dos fluxos de vazante indica o oposto. Os fluxos de vazante aumentam com o prolongamento dos molhes.

O efeito do prolongamento dos molhes e aprofundamento do canal de acesso (cenário C) sobre as trocas entre o estuário e a região costeira adjacente pode ser avaliado por meio das velocidades de enchente e vazante calculadas pelo modelo. Os resultados obtidos para essa configuração mostram redução nas velocidades de enchente e vazante, sendo que a primeira é bastante significativa (-18,6%).

TABELA 1 – Valores médios dos fluxos de enchente e vazante ($m^3 s^{-1}$) e das velocidades de enchente e vazante ($m s^{-1}$). O percentual é relativo aos resultados obtidos para o cenário A na Praticagem.

	A	B	C
Fluxo de enchente	2761	2582 (-6.5%)	2590 (-6.2)
Fluxo de vazante	-4149	-4443 (+7.1%)	-4578 (+10.3%)
Veloc. enchente	0,34	0,31 (-6.5%)	0,27 (-18.6%)
Veloc. vazante	-0,52	-0,54 (+3.2%)	-0,49 (-4.8%)

Visando a detalhar o comportamento da dinâmica estuarina, dos resultados obtidos para um mês de simulação, foram escolhidos dois períodos que ilustram o comportamento do sistema nas situações de vento predominante (NE e SO). O período entre $t=450$ e 474 h ilustra o evento de vento NE. O comportamento da superfície livre ao longo do estuário (Figura 7) indica que a combinação dos efeitos local e não-local do vento estabelece um gradiente de pressão em direção ao oceano, favorecendo a descarga da lagoa e o deslocamento da zona de mistura para a região costeira. Esse comportamento foi previamente observado por Fernandes et al. [4,5,6,8,9].

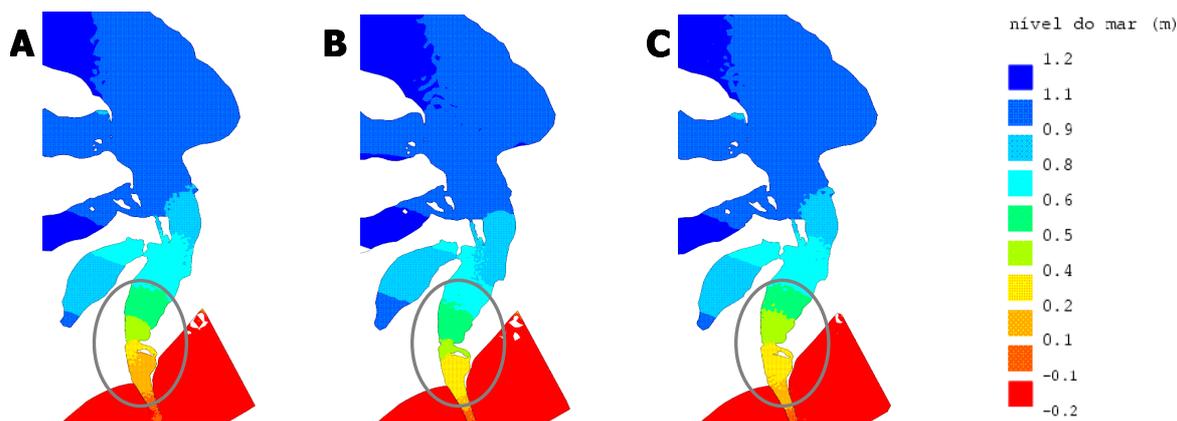


FIGURA 7 – Variação espacial do nível do mar calculada para os três cenários em estudo ($t=456$ h, vento NE). A) configuração atual; B) extensão dos molhes; C) extensão e aprofundamento do canal para 20m.

Os resultados dos três cenários para o período de vento NE mostram que as alterações propostas para os Molhes da Barra resultam numa distribuição diferenciada do nível do mar em cada caso. Embora uma redução do nível do mar seja observada nas proximidades da boca do estuário, o cenário B acentua o efeito de afunilamento e tende a empilhar água no baixo estuário, promovendo um gradiente de elevação mais acentuado do que na configuração original (cenário A). Comportamento semelhante foi observado para o cenário C, embora em menor escala devido ao aprofundamento do canal. Na região semifechada do Saco da Mangueira, o prolongamento dos Molhes da Barra (cenário B) promove o aumento do nível do mar e o estabelecimento de gradiente de elevação mais acentuado, que favorece as trocas entre essa região e o canal de acesso.

O período entre $t=689$ e 713 h ilustra o evento de vento SO. A elevação do nível do mar calculada para o estuário indica que a combinação dos efeitos local e não-local do vento estabelece um gradiente de pressão em direção à Feitoria, favorecendo os fluxos de enchente e a penetração da água salgada (resultados não apresentados). A salinidade foi incluída no modelo como um traçador, e os resultados obtidos para os três cenários são apresentados na Figura 8.

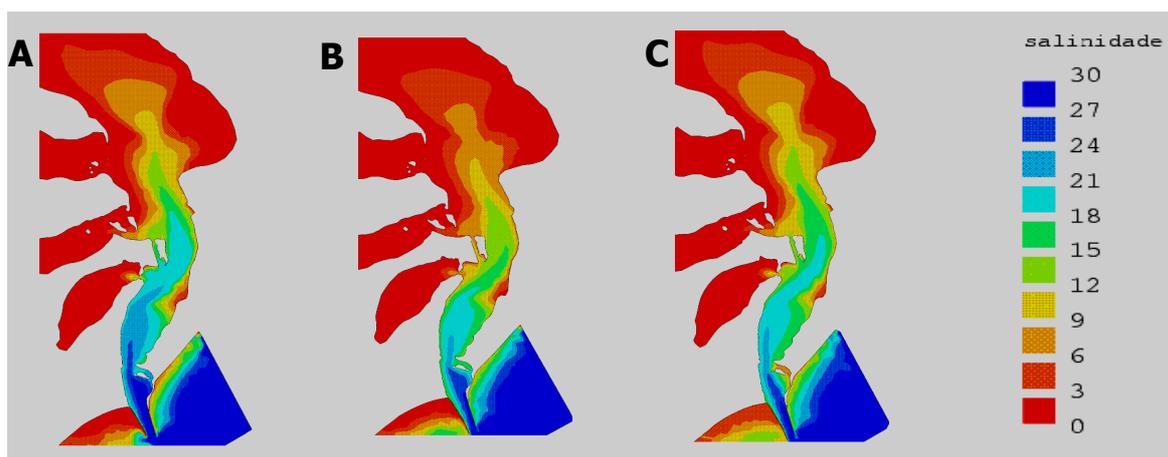


FIGURA 8 – Variação espacial de salinidade calculada para os três cenários em estudo (t=711 h, vento SO). A) configuração atual; B) extensão dos molhes; C) extensão e aprofundamento do canal para 20m.

A comparação dos resultados de distribuição espacial da salinidade obtidos com a configuração atual (cenário A) e com as modificações propostas para os molhes (cenários B e C) mostra que essas alterações reduzem a distância de penetração do gradiente salino e da cunha salina. Essa redução está diretamente relacionada à diminuição dos fluxos de enchente comentada anteriormente (Tabela 1), indicando que o processo de advecção controla a distribuição de salinidade no canal de acesso ao estuário da Lagoa dos Patos. Esses resultados estão de acordo com as conclusões de Moller e Castaing [15].

A análise geral dos resultados obtidos através da modelagem numérica para o período entre 07/1999 e 08/1999 indica que a dinâmica do alto estuário não seria afetada pela alteração da configuração dos Molhes da Barra do Rio Grande.

5 – DISCUSSÃO

As zonas costeiras em geral, e os estuários em particular, constituem interfaces de grande importância para a humanidade, devido às numerosas vantagens oferecidas por esses locais, como recreação, turismo, desenvolvimento portuário e industrial, maricultura etc. Muitas dessas atividades são conflitantes entre si e competem pelo uso dos recursos que esses ambientes oferecem. Dentro desse contexto, a alteração da configuração dos Molhes da Barra de Rio Grande, e conseqüentemente, da dinâmica do baixo e médio estuário, trará conseqüências positivas e negativas conflitantes e tenderá a alterar a característica predominantemente pesqueira do estuário da Lagoa dos Patos, vigente desde o início do século, para um uso mais portuário e industrial.

O empreendimento de alteração da configuração atual dos Molhes da Barra de Rio Grande prevê a extensão do molhe leste em 500 m e do molhe oeste em 900 m, o aprofundamento do canal e a convergência dos molhes. Os impactos causados por essa obra sobre a dinâmica do estuário foram inicialmente analisados com base nos estudos feitos por Driscoll [4], que aplicou um modelo numérico para a região para um período de 5 dias. Entretanto, conforme o referido autor, esse estudo foi considerado insuficiente para a avaliação adequada de todas as alterações às quais o estuário estaria exposto. Essa constatação deu origem à necessidade de dar continuidade aos estudos numéricos que visam a detalhar o efeito da alteração dos molhes sobre a dinâmica estuarina.

Os resultados do presente trabalho estão de acordo com os resultados iniciais apresentados por Driscoll [4], e mostram que a alteração do padrão de circulação da área se refletirá na forma de aumento dos fluxos de vazante e diminuição dos fluxos de enchente, diminuição da distância atingida pela água salgada no interior do estuário e aumento do nível de água no interior do estuário, e sugere uma alteração potencial da distribuição vertical de salinidade no interior do estuário. O efeito da alteração dos molhes também se refletirá numa série de aspectos químicos e ecológicos, que estão além dos objetivos deste trabalho.

Como resultado da alteração da distância percorrida pela água salgada no interior do estuário, haverá uma redução potencial na entrada de organismos marinhos como fitoplâncton, larvas e juvenis de moluscos, crustáceos e peixes, que constituem elos importantes na cadeia trófica estuarina. A redução do recrutamento de larvas e juvenis de espécies de peixes de valor comercial como corvina, papa-terra, pescada e tainha acarretará a redução dos estoques adultos e, conseqüentemente, reduzirá a abundância de recursos pesqueiros no estuário.

Uma vez que as velocidades de vazante calculadas para o cenário com o prolongamento dos molhes (cenário B) são maiores do que as calculadas para a configuração atual (cenário A), a alteração da configuração dos molhes sugere uma diminuição potencial na taxa de assoreamento do canal de acesso ao Porto do Rio Grande. Por outro lado, o aprofundamento do canal (cenário C) resulta em velocidades de vazante menores do que as atuais, sugerindo um aumento na taxa de assoreamento do canal.

Entretanto, o prolongamento dos molhes oferece uma redução dos riscos à navegação, pois o aumento das velocidades de vazão e, conseqüentemente, da estrutura vertical da pluma na zona costeira, dará origem a um jato estuarino mais profundo. Nesse caso, uma menor porção da coluna d'água será afetada pelas correntes transversais ao eixo do canal (paralelas à costa), que representam um risco à navegabilidade na região.

De forma geral, este trabalho ressalta a natureza potencial, indireta e difusa de alguns dos impactos relacionados à obra de alteração da configuração atual dos Molhes da Barra do Rio Grande sobre a dinâmica estuarina, os quais somente poderão ser verificados a médio e longo prazo.

6 – CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que a extensão dos Molhes da Barra reduziria os fluxos de enchente e aumentaria os fluxos de vazante. A extensão dos molhes combinada com o aprofundamento do canal de acesso levaria a velocidades menores, sugerindo um potencial aumento na taxa de assoreamento do canal. A extensão dos molhes sem o aprofundamento do canal, entretanto, levaria a velocidades de vazão maiores no canal, potencialmente reduzindo a necessidade de dragagem. Além disso, a extensão dos molhes restringiria a intrusão de água do mar e, conseqüentemente, afetaria a entrada de espécies de peixes e crustáceos comercialmente importantes para a economia da região.

Estes resultados preliminares ressaltam a influência das alterações morfológicas propostas sobre o padrão de circulação do estuário. Simulações tridimensionais são necessárias para avaliar os efeitos dessas alterações morfológicas sobre a estrutura vertical da circulação e a distribuição de salinidade.

REFERÊNCIAS

1. CASTELLO, J. P. La ecología de los consumidores del estuario de la Lagoa dos Patos, Brasil. In: YANES-ARANCIBIA, A. (ed.) *Fish community ecology in estuaries and coastal lagoons: towards an ecosystem integration*. Mexico: DR(N) UNAN, 1985. p. 386-406.
2. CHENG, R. T.; BURAU, J. R.; GARTNER, J. W. Interfacing data analysis and numerical modelling for tidal hydrodynamic phenomena. In: PARKER, B. B. (ed.) *Tidal hydrodynamics*. J. Wiley and Sons, 1991. p. 201-219.
3. CHENG, R. T.; CASULLI, V.; GARTNER, J. W. Tidal, residual, intertidal mudflat (TRIM) model and its applications to San Francisco Bay, California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, n. 36, p. 235-280, 1993.
4. DRISCOLL, A. M. *Rio Grande Port expansion. Numerical modelling of salinity intrusion*. Danish Hydraulic Institute. Project 50119, 1999.
5. FERNANDES, E. H. L.; DYER, K. R.; MOLLER, O. O. Spatial gradients in the flow of the southern Patos Lagoon. *Journal of Coastal Research*, n. 40, p. 1-10, 2005.
6. FERNANDES, E. H. L.; MARIÑO-TAPIA, I.; DYER, K. R.; MOLLER, O. O. The attenuation of tidal and subtidal oscillations in the Patos Lagoon estuary. *Ocean Dynamics*, v. 54, n. 3-4, p. 348-359, 2004.
7. FERNANDES, E. H. L.; DYER, K. R.; MOLLER, O. O. Morphological influence on the formation of spatial gradients in the southern Patos Lagoon. In: IAHR SYMPOSIUM ON RIVER, COASTAL AND ESTUARINE MORPHODYNAMICS, 3. *Proceedings...* Barcelona, Sept. 1-5, 2003. p. 504-515.
8. FERNANDES, E. H. L.; DYER, K. R.; MOLLER, O. O.; NIENCHESKI, L. F. H. The Patos Lagoon hydrodynamics during an El Niño event (1998). *Continental Shelf Research*, n. 22, p. 1699-1713, 2002.
9. FERNANDES, E. H. L.; DYER, K. R.; NIENCHESKI, L. F. H. TELEMAC-2D calibration and validation to the hydrodynamics of the Patos Lagoon (Brazil). *Journal of Coastal Research*, SI 34, p. 470-488, 2001.
10. FERNANDES, E. H. L. *Modelling the hydrodynamics of the Patos Lagoon, Brazil*. Plymouth, 2001. Tese (Doutorado) – University of Plymouth. 198p.
11. HERVOUET, J. M.; VAN HAREN, L. *TELEMAC-2D Principle Note*. Electricité de France, 1994. Technical Report HE-43/94/051/B.
12. HERVOUET, J. M.; VAN HAREN, L. Recent advances in numerical methods for fluid flows. In: ANDERSON, M. G.; WALLING, D. E.; BATES, P. D. (ed.). *Floodplain processes*. John Wiley and Sons, 1996. p. 183-214.
13. KJERFVE, B. Comparative oceanography of coastal lagoons. In: WOLFE, D. A. (ed.). *Estuarine variability*. Orlando, FL: Academic Press, 1986. p. 63-81.
14. MOLLER, O. O.; CASTAING, P.; SALOMON, J. C.; LAZURE, P. The influence of local and non-local forcing effects on the subtidal circulation of Patos Lagoon. *Estuaries*, n. 24, p. 275-289, 2001.
15. MOLLER, O. O.; CASTAING, P. Hydrografical characteristics of the estuarine area of Patos Lagoon. In: PERILLO, G. M. E.; PICCOLO, C. M.; PINO, M. (ed.). *Estuaries of South America: their geomorfology and dynamics*. Berlin: Springer-Verlag, 1999. p. 83-99.
16. MOLLER, O. O.; LORENZZETTI, J. A.; STECH, J. L.; MATA, M. M. The Patos Lagoon summertime circulation and dynamics. *Continental Shelf Research*, n. 16, p. 335-351, 1996.
17. MOLLER, O. O.; PAIM, P. S. G.; SOARES, I. D. Facteurs et mecanismes de la circulation des eaux dans l'estuaire de la Lagune dos Patos (RS, Brésil). *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, Bordeaux, n. 49, p. 15-21, 1991.
18. SUTHERLAND, J. *COSMOS modelling and the development of model performance statistics*. Report TR121-ECMAST Project No MAS3-CT97-0086. HR Wallingford, UK, 2001. p. B4.1-B4.4.
19. WALSTRA, L. C.; VAN RIJN, L. C.; BLOGG, H.; VAN ORMONDT, M. *Evaluation of a hydrodynamic area model based on the COAST3D data at Teignmouth 1999*. Report TR121 – EC MAST Project No. MAS3-CT97-0086. HR Wallingford, UK, 2001.
20. WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J. E. ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, n. 90, p. 8995-9005, 1985.