

A INFLUÊNCIA DA BATIMETRIA NO POSICIONAMENTO DA INTRUSÃO SALINA EM ESTUÁRIOS

Adriana D. Medeiros¹; Paiva A. M.² & Vinzon S.B.³

Resumo – Diversos fatores afetam o deslocamento da intrusão salina em estuários estratificados como vazão fluvial, maré e geometria do canal, possuindo a batimetria também um papel importante. Neste trabalho faz-se um estudo, com o uso de modelagem numérica, para se avaliar o efeito da topografia de fundo no posicionamento da intrusão salina. Este estudo foi realizado no estuário do rio Itajaí-Açu que possui características de estratificação vertical e apresenta uma batimetria caracterizada por depressões intercaladas por soleiras. Demonstrou-se que a batimetria é uma importante variável na dinâmica da intrusão salina em estuários estratificados, em geral, e no caso do estuário do rio Itajaí-Açu em particular, afetando seu deslocamento tanto no caso de vazões constantes como também para vazões variáveis.

Abstract – Many factors affect the displacement of the saline intrusion in stratified estuaries, like riverflow, the tides, the geometry of the channel and the bathymetry. In this work, a numerical model is used in order to evaluate the effect of the bottom topography on the position of saline intrusion. This study is carried on the Itajaí-Açu estuary, which is highly stratified and presents topography features characterized by the presence of distinct sills and troughs. It is demonstrated that the bathymetry represents an important variable in the dynamics of the salt intrusion in stratified estuaries, in general, and in the Itajaí-Açu estuary in particular; affecting its displacement either constant river flow or variable flow.

Palavras-chave – estuários; intrusão salina, batimetria.

¹ PEnO/COPPE, UFRJ, Cx Po 68508, Centro de Tecnologia - Sala I-100, Ilha do Fundão, CEP 21 945-970 , Rio de Janeiro, RJ, Brasil, (21) 2562 8811, adriana@peno.coppe.ufrj.br

² PEnO/COPPE, UFRJ, Cx Po 68508, Centro de Tecnologia - Sala C-209, Ilha do Fundão, CEP 21 945-970 , Rio de Janeiro, RJ, Brasil, (21) 2562 8754, mpaiva@peno.coppe.ufrj.br

³ PEnO/COPPE, UFRJ, Cx Po 68508, Centro de Tecnologia - Sala C-209, Ilha do Fundão, CEP 21 945-970 , Rio de Janeiro, RJ, Brasil, (21) 2562 8748, susana@peno.coppe.ufrj.br

INTRODUÇÃO

A classificação de estuários quanto ao seu padrão de circulação é determinada por fatores físicos e ambientais como geometria, vento, maré e vazão fluvial. O grau de estratificação de um estuário depende principalmente do nível de turbulência presente o qual está associado a energia da maré e sua capacidade de mistura. Estuários parcialmente misturados geralmente ocorrem em regiões de mesomaré. Em estuários altamente estratificados a ausência de forte turbulência possibilita a formação de uma região com alto gradiente de salinidade separando as camadas de água doce e salgada, inclusive com a formação de uma cunha salina. Estuários deste tipo ocorrem geralmente, em regiões de micromaré (Dyer, 1997) e o deslocamento da cunha salina se dá então, principalmente, pela variação da vazão fluvial .

Diversos estudos sobre estuários que apresentam estratificação acentuada tentam relacionar o posicionamento da cunha salina com a vazão fluvial. Mas, em alguns casos estas curvas de correlação entre vazão e alcance da intrusão salina não apresentam um alto índice de correlação (Vieira e Bordalo, 2000, McAnally e Pritchard, 1997, Schettini e Truccolo, 1999^a), observando-se que, para uma mesma vazão há diferentes comprimentos associados. Uma possível explicação para este fato está na batimetria do estuário. No estuário do rio Mississippi que apresenta uma topografia de fundo com profundidades da ordem de 60 m intercaladas por soleiras naturais com profundidades de cerca de 20 m (McAnally e Pritchard, 1997), as observações mostraram que durante a descida do hidrograma a cunha salina se mantém aprisionada em uma dada soleira para uma faixa de vazões. Quando um determinado limite crítico de vazão é atingido, a cunha então consegue mover-se para montante até uma outra soleira principal, ao invés de apresentar uma relação unívoca entre sua posição e a vazão. Vieira e Bordalo (2000), realizaram um estudo no estuário do rio Douro, que é um estuário de mesomaré e com 22 km de extensão, e verificaram que a presença de depressões batimétricas mantém a cunha salina aprisionada em três posições predominantes para determinadas faixas de vazões.

No Brasil um importante estuário que apresenta uma intensa estratificação vertical é o estuário do rio Itajaí-Açu. Este estuário drena importantes áreas urbanas e industriais no estado de Santa Catarina e em sua porção terminal situa-se o Porto de Itajaí que cumpre importante papel no contexto econômico local e regional. O estuário possui uma extensão de aproximadamente 70 km, largura média de 200 m e profundidade média de 9 m. O regime hidrológico do rio Itajaí é bastante variável ao longo do tempo, apresentando uma vazão média diária de 228 m³/s com picos de descarga de até 5000 m³/s. A maré na região é semi-diurna com desigualdades, com alturas médias na foz do estuário de 0,4 m na quadratura e de 1,2 m na sizígia, caracterizando um estuário de micromaré (Schettini, 2001). Segundo Döbereiner (1986), o estuário do rio Itajaí-Açu se apresenta normalmente na forma estratificada para vazões médias de 225 m³/s, quando a cunha salina penetra

até aproximadamente 18 km da foz. Para vazões maiores (de 400 a 900 m³/s) a cunha salina oscila em um trecho de cerca de 10 km a partir da foz e para vazões excepcionais a cunha salina é praticamente expulsa do estuário. Schettini (2001) sugere que a dinâmica da cunha salina no estuário do rio Itajaí-Açu é controlada pela descarga fluvial, tendo a maré um papel secundário.

Paiva (1992) e Paiva e Rosmann (1993) realizaram experimentos de modelagem da cunha salina no estuário do rio Itajaí-Açu conseguindo reproduzir as características de estratificação salina para diferentes vazões considerando, no entanto, fundo plano. Levantamentos batimétricos recentemente realizados, e cedidos por Schettini (comunicação pessoal), permitiram identificar a presença de profundas depressões em algumas regiões e também de baixios. As profundidades máxima e média nas seções transversais foram obtidas a cada 1000 m e estão apresentadas em perfis longitudinais na figura 1. Pelo talvegue observa-se a presença de fortes depressões que chegam a alcançar 14 m de profundidade acompanhadas de soleiras que, no talvegue, chegam a 3 m de profundidade. Observando-se a topografia de fundo pelo talvegue pode-se notar, nos primeiros 3,5 quilômetros a partir da foz, a presença do canal de navegação do porto de Itajaí com profundidades superiores a 10 m e que é mantido através de constantes dragagens. Nos outros trechos observam-se regiões com profundidades superiores a 10 m e também com baixios (soleiras), sendo que as principais soleiras, por exemplo, nos quilômetros 16, 21, 26, 31, encontram-se assinaladas na figura 1.

Em um trabalho de campo realizado por Schettini e Truccolo (1999b) no estuário do rio Itajaí-Açu, para avaliar a influência da maré sobre a estrutura estuarina analisou-se a variação longitudinal de salinidade por aproximadamente um ciclo de maré (10 horas). A avaliação foi realizada em função das posições alcançadas pelas isolinhas de salinidade de 2 e 30 a cada 2 horas. Enquanto se observa uma grande variabilidade da isolinha de salinidade de 30 durante o ciclo de maré, a de 2 praticamente não sofre alterações de posição, mantendo-se durante todo ciclo em torno do quilômetro 14. É interessante notar que justamente nesta posição encontra-se uma depressão batimétrica com cerca de 11 m de profundidade, e que esta depressão pode afetar o deslocamento da intrusão salina no estuário.

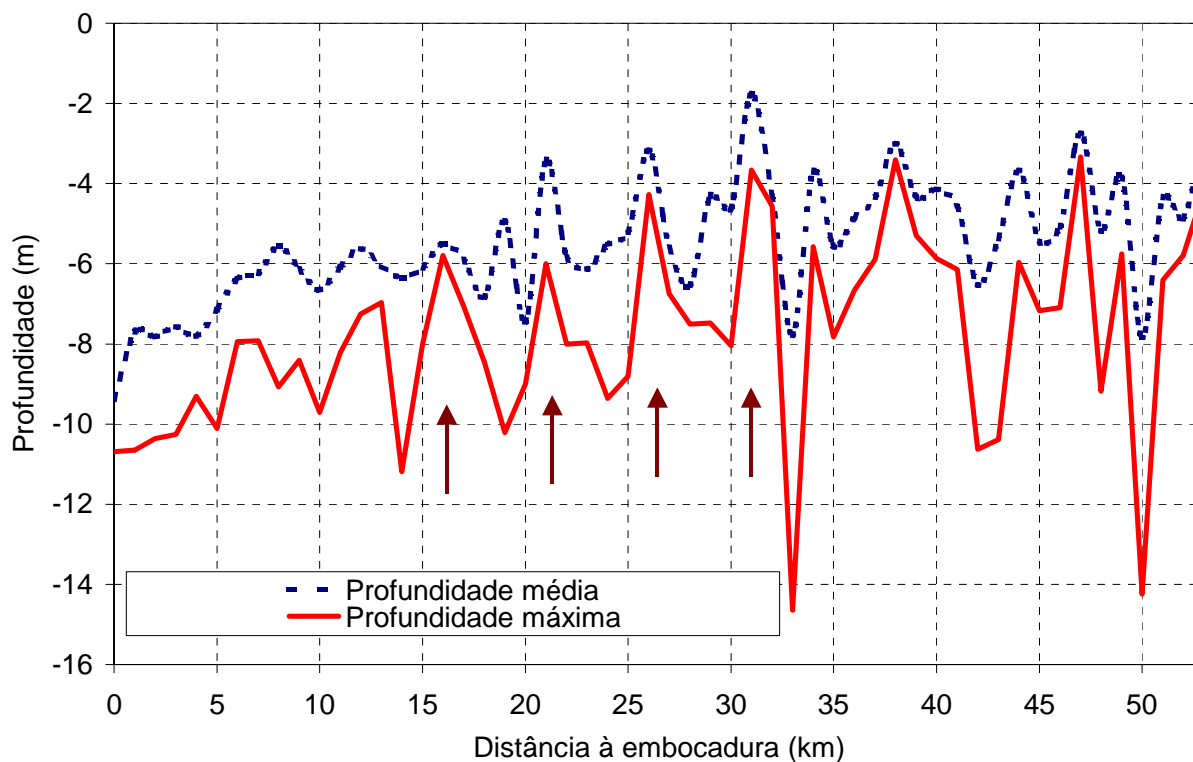


Figura 1 - Perfil longitudinal da topografia de fundo do estuário do rio Itajaí-Açu, para as profundidades média e máxima na seção transversal a cada 1 km. As setas indicam as principais soleiras existentes no talvegue.

Dados de salinidade coletados no estuário do rio Itajaí-Açu pelo grupo de pesquisa da Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI (Schettini, comunicação pessoal), permitiram uma análise das posições ocupadas pelas isolinhas de salinidade de 2 e 30, para diferentes condições de vazão fluvial, maré (sizígia e quadratura) e instantes de maré. Para vazões inferiores a $170 \text{ m}^3/\text{s}$, observa-se a existência de posições preferenciais ocupadas pela frente da intrusão salina de acordo com a maré, indicando que a batimetria pode desempenhar um importante papel sobre o deslocamento da intrusão salina.

O presente estudo tem por objetivo realizar um exercício numérico para investigar a influência da batimetria, pela presença de depressões seguidas por soleiras, sobre o posicionamento da frente da intrusão salina no estuário do rio Itajaí-Açu, para situações de vazão fluvial constante e variável.

METODOLOGIA

A metodologia baseou-se na utilização de um modelo numérico hidrodinâmico e de transporte de sal bidimensional na vertical (equações integradas na direção transversal do canal principal).

Este modelo baseou-se num modelo desenvolvido por Paiva (1992) e aperfeiçoado recentemente. Ele é capaz de simular a intrusão salina considerando os efeitos advectivos, difusivos, barotrópico e baroclínico. A solução numérica das equações de Navier-Stokes, continuidade e transporte de sal foi obtida através de um esquema explícito em diferenças finitas, utilizando uma malha espacial alternada. É utilizada a transformação sigma de coordenadas na direção vertical, o que permite uma melhor discretização do fundo do estuário, uma boa representação de regiões mais rasas, além de uma simplificação no tratamento de algumas condições de contorno. No entanto, há relatos de erros associados ao cálculo do termo do gradiente de pressão baroclínico, em função da transformação sigma de coordenadas e que podem produzir escoamentos artificiais (Slordal, 1997, McCalpin, 1994, Haney, 1991, Stelling e Van Kester, 1994, Beckmann e Haidvogel, 1993). Este erro pode ser relevante em regiões com declividades de fundo pronunciadas e com grandes variações de densidade. No modelo encontra-se implementada uma diferenciação de mais alta ordem do termo do gradiente de pressão baroclínico, apresentada por McCalpin (1994), com o objetivo de redução dos erros de truncamento associados. O modelo possui os coeficientes de viscosidade e difusão turbulentas verticais variando espacialmente e temporalmente de acordo com o grau de estratificação na coluna d'água em função do número de Richardson.

No modelo são consideradas as seguintes condições de contorno:

- Superfície livre: prescrição dos fluxos de massa, sal e quantidade de movimento nulos, não foram consideradas tensões de vento na superfície livre;
- Fundo: especificação da tensão de fundo;
- Contorno marítimo: - especificação da elevação de nível em função do tempo
- especificação do perfil de salinidade utilizando uma condição de contorno relaxada;
- Contorno fluvial: especificação da vazão do rio e fluxo de sal nulo, com a possibilidade de uso ou não de uma condição de radiação para velocidade e salinidade;

CONFIGURAÇÃO DO MODELO

O estuário foi considerado com uma extensão de 60 km, que é aproximadamente a distância entre as cidades de Itajaí e Blumenau, e apresenta seções transversais retangulares e largura constante de 200 m, que é representativa da largura equivalente considerando-se as profundidades máximas do canal. Foi utilizado um espaçamento horizontal entre seções de 1000 m para todas as simulações, representando assim de forma adequada as variações batimétricas. Para a discretização da coluna d'água foram considerados 10 níveis verticais. As simulações foram realizadas utilizando-se um passo de tempo de 20 s, representando um número de Courant de 0,25, sendo o

critério de estabilidade para malha alternada de 0,5. Com relação ao critério de difusão este passo de tempo representou um valor da ordem de 10^{-2} , sendo o limite máximo de 0,25.

Dentre os parâmetros de calibração do modelo encontram-se os parâmetros de atrito no fundo e lateral, bem como os coeficientes de mistura turbulentos. Os coeficientes de atrito no fundo e lateral foram considerados constantes ao longo do estuário, e foram ajustados de forma a reproduzir os perfis de salinidade observados com os dados. Os valores do coeficiente de Manning e de atrito lateral apresentaram-se com valores superiores aos usualmente utilizados na literatura, com ambos os valores iguais a 0,05. Os coeficientes de difusão e viscosidade turbulentos horizontais foram considerados constantes com valores iguais a $0,04 \text{ m}^2/\text{s}$ uma vez que sua variabilidade mostrou pouco influência nos resultados.

Os coeficientes de difusão e viscosidade turbulentos verticais apresentam-se variáveis de acordo com o nível de estratificação e foram calculados na forma proposta por Blumberg (1975) em que os coeficientes de mistura turbulenta são dependentes do número de Richardson local R_i e do número de Richardson crítico estabelecido R_{ic} , neste trabalho igual a 2.

Quanto à prescrição das condições de contorno, na extremidade de montante a vazão fluvial foi considerada constante e igual a $200 \text{ m}^3/\text{s}$ para as simulações com vazão constante e no caso de vazão variável ela foi considerada constante de $300 \text{ m}^3/\text{s}$ até que o modelo estabilizasse, quando então, no 10º ciclo de simulação a vazão passou a decrescer linearmente até atingir o valor de $100 \text{ m}^3/\text{s}$, em um tempo total de 240 horas. Vale ressaltar que não foram consideradas contribuições laterais de vazão neste trabalho. Já a condição de contorno de montante de salinidade foi considerada como fluxo nulo. A condição de radiação no contorno de montante não foi utilizada uma vez que, segundo Schettini (2001), oscilações devidas à onda de maré são percebidas somente até a cidade de Blumenau, sugerindo a não propagação da onda de maré além deste ponto.

A condição de contorno de jusante foi prescrita como elevação na foz do estuário por uma onda de maré de apenas uma componente, com período de 12 h e amplitude igual a 0,2 m, ou nula, no caso das simulações sem maré. A salinidade foi prescrita com o perfil de salinidade apresentado na figura 2, utilizando-se uma condição de contorno de salinidade relaxada.

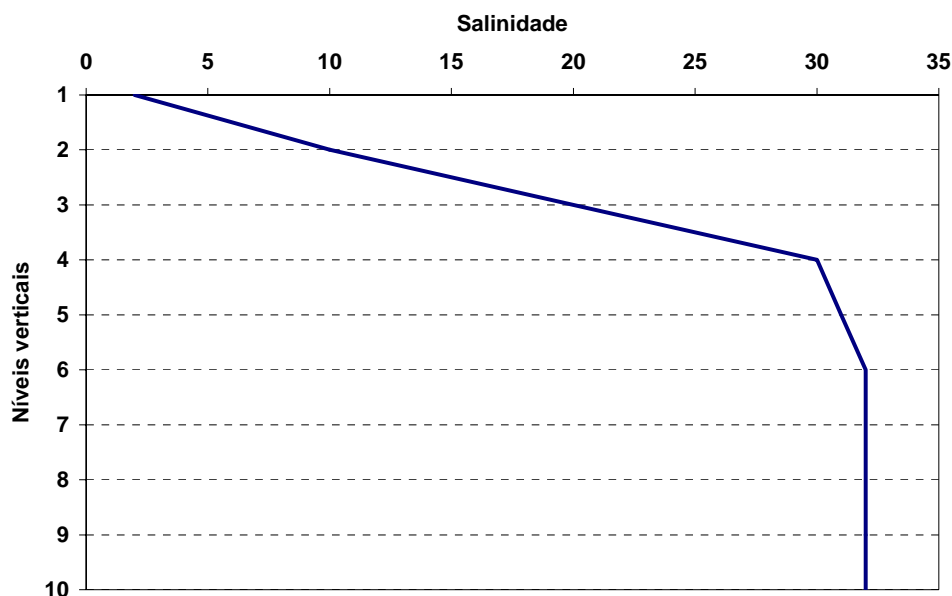


Figura 2 - Perfil de salinidade imposto como condição de contorno na extremidade de jusante do modelo numérico.

Quanto às condições iniciais foram adotados valores nulos para velocidade horizontal, velocidade vertical e elevação. A convergência do modelo em relação a hidrodinâmica ocorreu dentro do primeiro ciclo de simulação. Foi adotado como condição inicial de salinidade o perfil considerado na condição de contorno de jusante de sal. A estabilização do modelo quanto a salinidade ocorreu em torno do 10º ciclo de simulação. Todos os experimentos foram realizados considerando-se 20 ciclos de maré para a simulação, com exceção do experimento referente a a vazão variável onde foram considerados 30 ciclos. O tempo de processamento para cada experimento foi em torno de 5 minutos em um computador AMD Athlon 1.2 GHz com 512 MB de memória RAM.

RESULTADOS

A modelagem visou reproduzir as principais feições dos padrões salinos do estuário do rio Itajaí-Açu, para ser utilizada como ferramenta de investigação de fenômenos físicos. Experimentos preliminares conseguiram reproduzir as condições de estratificação vertical observadas nos perfis de salinidade obtidos através dos dados.

Para se avaliar o efeito da batimetria no posicionamento da cunha salina foram realizados experimentos com os cenários descritos na tabela abaixo:

Tabela 1 – Cenários modelados

Cenário	Vazão	Amplitude de maré	Topografia de fundo
1	Constante 200 m ³ /s	0,0 m	Plano com declividade de 0,0133%
2	Constante 200 m ³ /s	0,2 m	Plano com declividade de 0,0133%
3	Constante 200 m ³ /s	0,0 m	Variável
4	Constante 200 m ³ /s	0,2 m	Variável
5	Variável 300 – 100 m ³ /s	0,2 m	Plano com declividade de 0,0133%
6	Variável 300 – 100 m ³ /s	0,2 m	Variável

Para os cenários 1 a 4, foi considerada uma situação de vazão fluvial em torno da média do estuário do rio Itajaí-Açu. Para os cenários 5 e 6, considerou-se uma variação linear da vazão fluvial entre valores observados no rio, em um intervalo de 10 dias, com fundos plano e variável, respectivamente. Foram considerados ainda casos com a batimetria variável, cenários 3, 4 e 5, considerando-se as profundidades máximas apresentadas na figura 1 e também com o fundo plano mas com uma declividade de 0,0133%, que é a declividade do rio considerando-se as profundidades máximas da batimetria apresentada na figura 1, cenários 1 e 2.

Para os cenários com vazão constante e fundo plano com declividade, observa-se um avanço praticamente linear da frente da intrusão salina para a situação sem maré (cenário 1), até sua estabilização no quilômetro 35. A inclusão da maré (cenário 2) afeta seu posicionamento, tanto em relação às oscilações devidas à onda de maré dentro de um ciclo, como também em relação ao alcance da frente salina quando o modelo entra em regime, que é menor que o alcance do cenário anterior, conforme figura 3. Este menor alcance deve-se ao fato da maior mistura ocasionada pela inclusão do efeito da onda de maré no cenário 2, em relação ao cenário 1, onde seu efeito é desconsiderado.

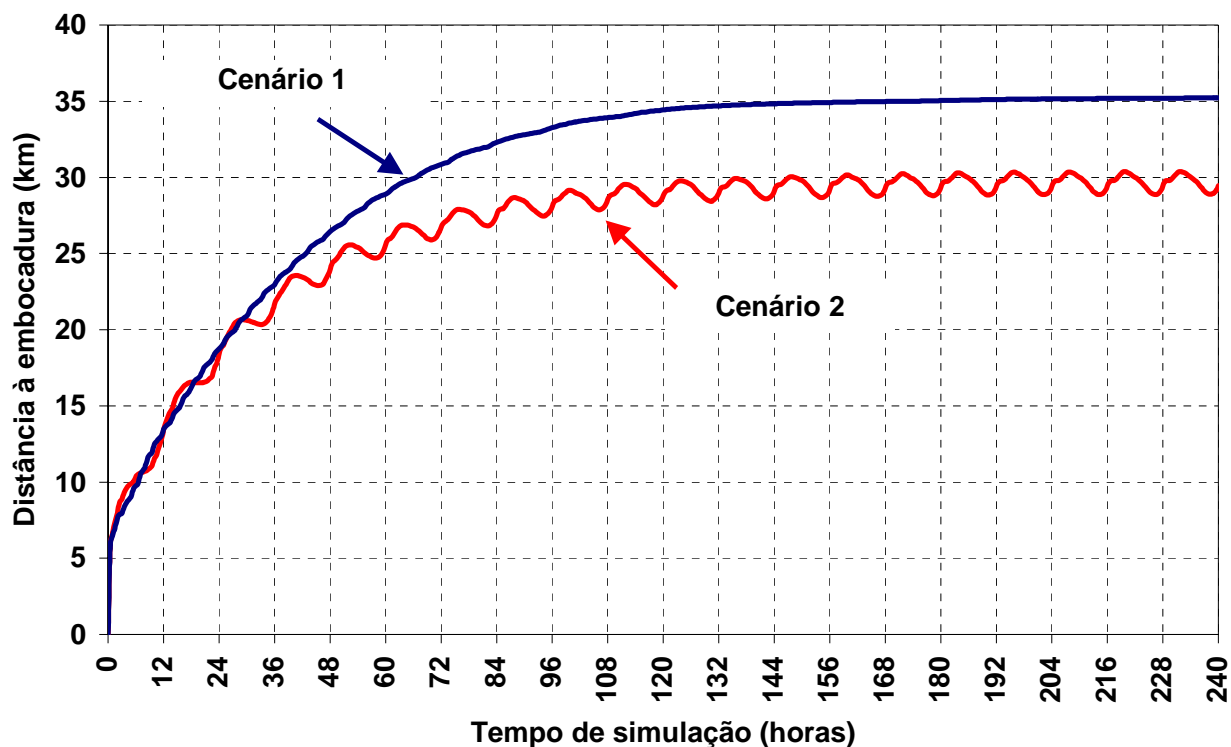


Figura 3 - Posicionamento da frente salina representada pela isolinha de salinidade 2 em função do tempo, para os cenários 1 (sem efeito da maré) e 2 (com efeito da maré), considerando vazão constante de 200 m³/s e fundo plano com declividade de 0,0133 %.

Ainda para as simulações com vazão constante, mas considerando-se o fundo variável, figura 4, observa-se de modo geral, comportamentos similares para os casos com e sem maré que os relatados anteriormente, mas com uma diferença significativa no alcance da intrusão salina, cerca de 10 km em ambos os casos. A inclusão da batimetria variável provoca mudanças quanto ao comportamento do deslocamento da frente salina, como por exemplo no cenário 3 onde verificam-se retardos no avanço da intrusão salina aproximadamente entre as horas 20 e 40 da figura 4 e também entre as horas 42 e 72, provocados pela batimetria. No cenário 4, a frente salina avança de forma progressiva até a 19^a hora de simulação, quando a frente alcança a soleira situada no quilômetro 16, e permanece neste ponto durante aproximadamente 5 horas. Ela continua avançando até alcançar a soleira situada no quilômetro 21 onde são necessários dois ciclos de maré para que a frente consiga transpô-la. O modelo entra então em regime e a frente da intrusão salina fica oscilando em torno desta soleira.

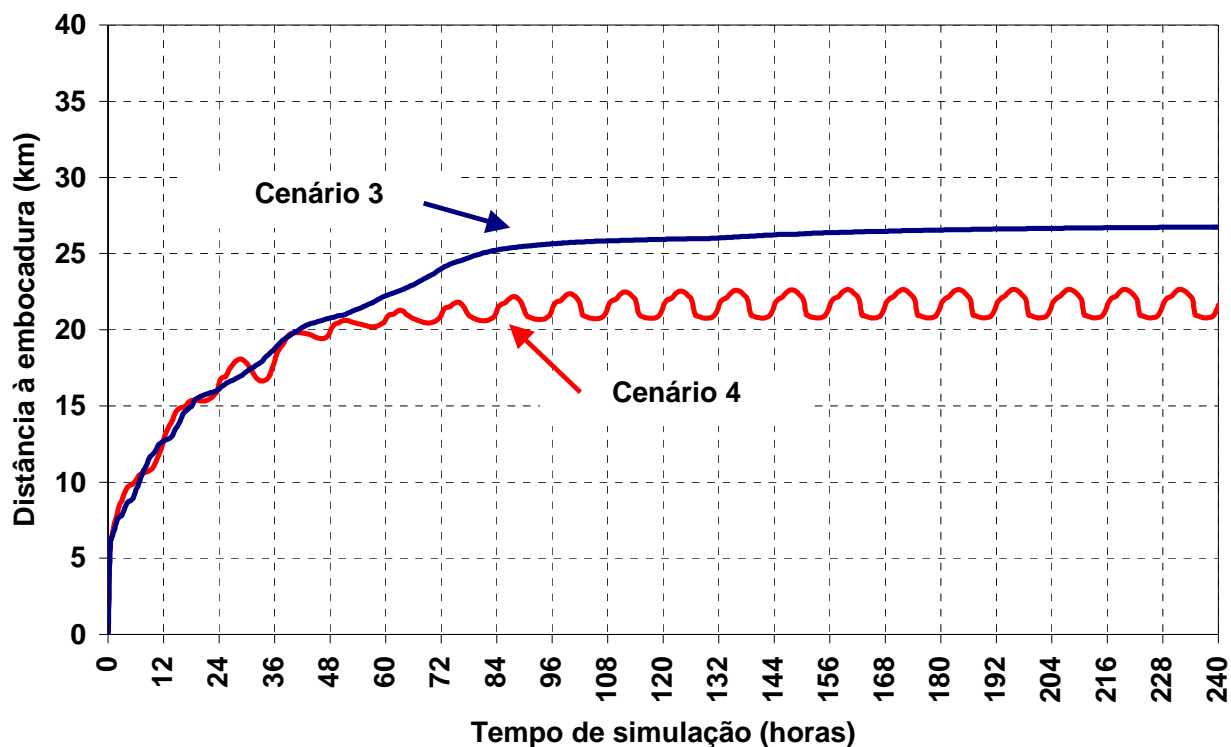


Figura 4 - Posicionamento da frente salina representada pela isolinha de salinidade 2 em função do tempo, para os cenários 3 (sem efeito da maré) e 4 (com efeito da maré), considerando vazão constante de 200 m³/s e fundo variável.

Para o cenário 5, considerando-se vazão variável, o efeito da maré e fundo plano com declividade, a posição média por ciclo de maré da frente salina, em função do tempo encontra-se representada na figura 5. Observa-se que com a diminuição da vazão fluvial a posição média da frente salina avança de forma monotônica para montante. Com a inclusão da batimetria variável (cenário 6), contudo, observa-se um retardo no avanço da frente salina durante certos intervalos de tempo, apesar do decréscimo de vazões, conforme figura 6. Este efeito relatado por McAnally e Pritchard (1997) de retenção da cunha em dada soleira para uma faixa de vazões é observado nesta figura entre as horas 120 e 180, quando a frente permanece estacionária na soleira existente no quilômetro 16, com uma variação da vazão de 300 a 250 m³/s, e então consegue mover-se para montante, e também entre as horas 216 e 276, quando a frente permanece aprisionada na soleira existente no quilômetro 21, apesar de uma variação da vazão fluvial de 218 a 168 m³/s.

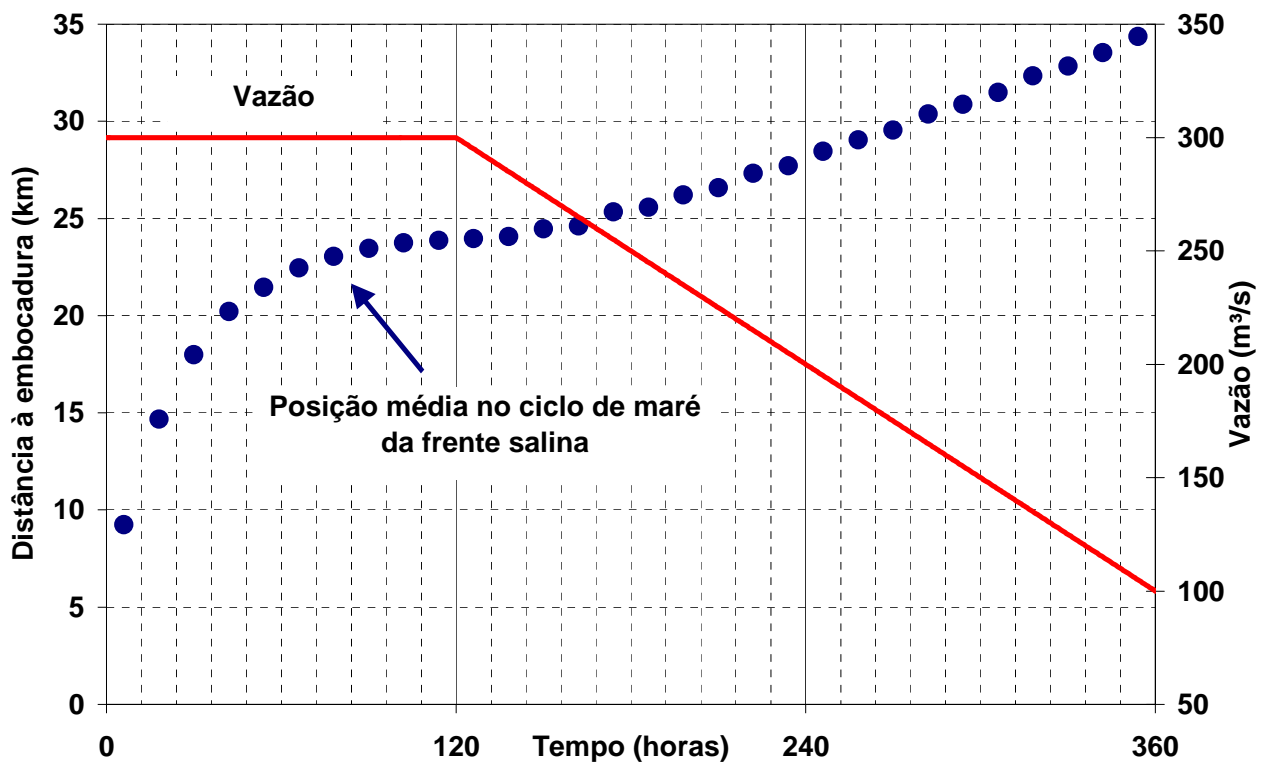


Figura 5 - Posicionamento médio no ciclo de maré da frente salina em função do tempo, para o cenário 5 considerando o efeito da maré, com vazão variável e fundo plano com declividade de 0,0133 %.

A presença de soleiras e depressões mostrou-se um importante fator no deslocamento da intrusão salina, seja retardando ou ainda aprisionando-a nestas feições. Os experimentos realizados neste trabalho foram baseados na batimetria levantada recentemente mas, vale ressaltar que a topografia de fundo do estuário sofre alterações ao longo do tempo, tanto em função dos pulsos de alta descarga a que o estuário do rio Itajaí-Açu está sujeito, como também, segundo Schettini (comunicação pessoal), pelas atividades de extração de areia existentes no trecho entre Blumenau e o quilômetro 15 a partir da embocadura.

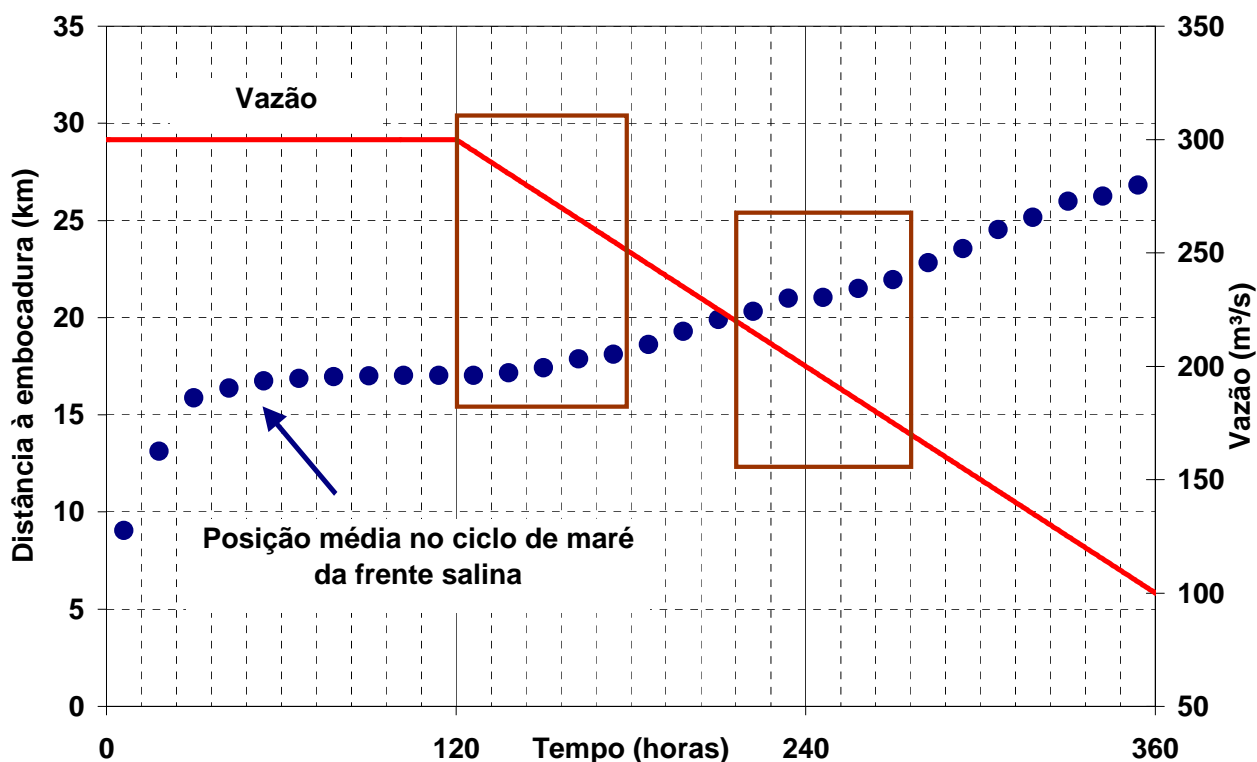


Figura 6 - Posicionamento médio no ciclo de maré da frente salina em função do tempo, para o cenário 6 considerando o efeito da maré, com vazão variável e fundo variável. Nos retângulos em destaque percebe-se os aprisionamentos provocados pelas soleiras situadas nos quilômetros 16 e 21 para determinadas faixa de vazões.

CONCLUSÕES

Uma série de fatores influenciam o movimento para montante da cunha salina e a batimetria mostrou-se uma variável importante no estudo da sua dinâmica, afetando sua propagação.

Estudos realizados em outros estuários destacam a importância da batimetria no deslocamento da intrusão salina especialmente na presença de depressões e soleiras (Vieira e Bordalo, 2000, McAnally e Pritchard, 1997). Nos dados mostrados por Schettini e Trucolo (1999b), observa-se o efeito de retenção da frente da intrusão salina representada pela isolinha de 2 na depressão localizada a 14 km da embocadura.

O efeito da batimetria sobre o deslocamento da intrusão salina na presença de fundo plano com declividade e na presença de depressões seguidas por soleiras foram investigadas numericamente no estuário do rio Itajaí-Açu. Para situações de vazão constante e fundo plano, observou-se um alcance maior da intrusão salina no cenário sem maré em relação ao cenário com maré. A inclusão de uma topografia de fundo variável, produziu um atraso no avanço da frente salina em ambos os casos, com e sem maré, especialmente nos pontos onde se situam as principais

soleiras, além de provocar uma diminuição significativa no alcance da intrusão salina em comparação aos cenários de fundo plano.

Para as simulações de vazão variável, observou-se no caso de fundo plano, um avanço monotônico da frente salina para montante em função do decréscimo de vazões, porém a inclusão de uma batimetria variável, manteve a frente salina aprisionada por determinada faixa de vazões nas principais soleiras localizadas nos quilômetros 16 e 21.

A existência de depressões batimétricas seguidas de soleiras se mostrou importante no deslocamento da intrusão salina, seja retardando-a ou ainda aprisionando-a nas soleiras. A presença do porto de Itajaí e as constantes dragagens de manutenção exigidas alteram a topografia do fundo e conseqüentemente podem afetar a circulação e provocar alterações no processo sedimentológico do estuário. Este trabalho pretendeu contribuir com o estudo das variáveis que afetam a circulação estuarina, em particular de estuários estratificados e os resultados obtidos ressaltam a importância da topografia de fundo sobre o comportamento da intrusão salina em estuários, de forma geral, e em especial no estuário do rio Itajaí-Açu.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beckmann, A., Haidvogel D. B., 1993, "Numerical Simulation of Flow around a Tall Isolated Seamount. Part I: Problem Formulation and Model Accuracy", *Journal of Physical Oceanography*, v. 23, pp. 1736-1753.
- Blumberg, A. F., 1975, *A Numerical investigation into the dynamics of estuarine circulation*. Chesapeake Bay Institute, Technical Report 91, The Johns Hopkins University, 110 p.
- Döbereiner, C. E., 1986, "Sedimentação no Estuário do Rio Itajaí-Açu", In: *Anais do 12º Congresso Latino Americano de Hidráulica*, v. 3, pp. 68-79, São Paulo.
- Dyer, K. R., 1997, *Estuaries: A Physical Introduction*, 2ª ed., England, John Wiley & Sons Ltd.
- Haney, R. L., 1991, "On the Pressure Gradient Force over Steep Topography in Sigma Coordinate Ocean Models", *Journal of Physical Oceanography*, v. 21, pp. 610-619.
- McAnally, W. H., Pritchard, D. W., 1997, "Salinity Control in Mississippi River Under Drought Flows", *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, v. 123, n. 1, pp. 34-40.
- McCalpin, J. D., 1994, "A Comparison of Second-Order and Fourth-Order Pressure Gradient Algorithms in a σ -Co-ordinate Ocean Model". *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, v. 18, pp. 361-383.
- Paiva, A. M., 1992, *Desenvolvimento de um Modelo Numérico de Circulação para Estuários Estratificados*. Tese de M. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

- Paiva, A. M., Rosmann, P. C. C., 1993, “Modelagem numérica de circulação em estuários estratificados”. In: *Anais do X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – ABRH*, v. 5, p. 488-494, Gramado – RS, Novembro.
- Schettini, C. A. F., 2001, *Dinâmica de sedimentos finos no estuário do Rio Itajaí-Açu, SC*. Tese de D. Sc., UFRGS – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Schettini, C. A., Truccolo, E. C., 1999a, “Dinâmica da intrusão salina no estuário do rio Itajaí-Açu”, In: *Congresso Latino Americano de Ciências do Mar*, 8, Trujillo, Peru, *Resúmenes ampliados*. Tomo II, UNT/ALICMAR, pp. 639-640
- Schettini, C. A., Truccolo, E. C., 1999b, “Tidal-driven influences on the shape of an estuarine salt wedge: Itajaí-Açu river, South Brazil”, In: *Symposium on Tidal Action, Tidal Processes and Tidal Effects on Coastal Evolution*, VII Brazilian Association for Quaternary Studies (ABEQUA), Porto Seguro, Brazil, 03-09 Outubro
- Slordal, L. H., 1997, “The Pressure Gradient Force in Sigma-Co-ordinate Ocean Models”, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, v. 24, pp. 987-1017.
- Stelling, G. S., Van Kester, J. A. TH. M., 1994, “On the Aproximation of Horizontal Gradients in Sigma Co-ordinates for Bathymetry with Steep Bottom Slopes”, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, v. 18, pp. 915-935.
- Vieira, M. E. C., Bordalo, A. A., 2000, “The Douro estuary (Portugal): a mesotidal salt wedge”, *Oceanologica Acta*, v. 23, n. 5, pp. 585-594.