

## DEPENDÊNCIA DO TEMPO DE RESIDÊNCIA DA ÁGUA NO ESTUÁRIO DO RIO JAGUARIBE (NE, BRASIL), EM RELAÇÃO À ENTRADA DE ÁGUAS MARINHAS E A DESCARGA DE ÁGUA DOCE.

Dias, F.J.S.; Marins, R.V.; Maia, L.P.; De Farias, E.G.G.

<sup>1</sup>Instituto de Ciências do Mar – Labomar. Universidade Federal do Ceará – UFCE. Av. Abolição 3207. 1º subsolo. Cep: 60165-081. Fortaleza – CE. e-mail: geofranzedias@yahoo.com.br

### RESUMO

O tempo de residência para o estuário do rio Jaguaribe (CE) foi calculado utilizando-se um modelo de caixa não estacionário, respeitando a sazonalidade climática da região, morfologia e a descarga do rio associadas à entrada de águas marinhas. O rio Jaguaribe, localizado no semi-árido brasileiro e principal curso de água para o estado do Ceará, possui estuário do tipo bem misturado, com profundidades máximas de 5m, caracterizado pela presença de grandes campos de dunas. O volume de água estuarina de setembro de 2005 a junho de 2006 apresentou comportamento sazonal variando de  $4,5 \times 10^6 \text{ m}^3$  (11,7% de água doce) no período de seca a  $8,4 \times 10^6 \text{ m}^3$  na quadra chuvosa (95% de água doce). O tempo de residência (TR) das águas estuarinas mostrou dependência da variabilidade climática não ultrapassando 3 horas na estação seca, enquanto na chuvosa o TR foi de 12 horas, evidenciando que mesmo com aumento significativo do volume de água doce no período de chuvas, não existiu competência da massa de água para romper as forçantes marinhas atuantes na região.

Palavras chave: tempo de residência, volume de água, estuário bem misturado.

### INTRODUÇÃO

Em geral o termo tempo de residência no ambiente estuarino é usado para designar o tempo médio em que o material dissolvido e particulado fica retido no estuário antes de serem transportados para o oceano adjacente (GÓMEZ-GESTEIRA *et al.*, 2003). O tempo de residência é um parâmetro conveniente que representa na escala de tempo os processos de transporte físicos que ocorrem nestes ambientes, e muitas vezes são usados como parâmetros de comparação na escala de tempo de processos biogeoquímicos (CUCCO & UMGIESSER, 2006). As bacias de drenagem e os estuários são comumente afetados por atividades antrópicas, que modificam o estado trófico e a qualidade ambiental destes ecossistemas (CUFFROY *et al.*, 2003). O estudo do ambiente estuarino tem importância fundamental na gestão dos recursos hídricos, pois nos estuários é que se refletem as atividades produzidas na bacia de drenagem afetando a qualidade e a disponibilidade da água para o oceano. O estuário do rio Jaguaribe (CE) na costa nordeste semi-árida brasileira (UFC, 2006) deságua no Atlântico equatorial, é caracterizado pela presença de praias arenosas e grandes campos de dunas movimentadas por ventos constantes. Em todo o seu curso, o rio percorre uma extensão de 633 km, drenando uma área de 72.000 km<sup>2</sup>. Possui uma grande rede de drenagem, da qual fazem parte os rios Banabuiú e Salgado, tendo 87% do seu fluxo normal controlado por sucessivos barramentos (CAMPOS *et al.*, 1979). O objetivo deste trabalho foi avaliar a dependência do tempo de residência das águas estuarinas do rio Jaguaribe da sazonalidade climática e do volume de água doce oriundo da bacia de drenagem, bem como a influência das meso-marés regionais.

### MATERIAIS E MÉTODOS

Durante o período amostral (setembro de 2005, fevereiro e junho de 2006), foram realizadas campanhas de 12 horas com medidas dos parâmetros físico-químicos (sonda multiparâmetros portátil YSI 85) acompanhadas por medidas de vazão obtidas com o auxílio um correntômetro ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) da marca Sontek - YSI. Para a obtenção da batimetria da seção foi utilizada uma ecossonda conjugada GARMIN. A variação da coluna d'água foi medida com sonda de pressão DIVER da marca Schlumberger.

A interface zona de maré do rio e de mistura estuarina, caracterizada em estudo anterior (DIAS, 2005; DIAS *et al.*, 2005a) com base no modelo de MIRANDA e colaboradores (2002), foi escolhida por se tratar de região que caracteriza a contribuição fluvial para o oceano. Neste ponto do

estuário, foram realizadas medidas horárias simultâneas de vazão, variação da coluna d'água, salinidade e temperatura correspondentes a um ciclo de maré na região de estudo.

O volume de água total ( $dv$ ) foi calculado a partir da equação I, em  $m^3$ :

$$dv = Q_m \cdot \xi \quad \text{Equação I}$$

Na equação I  $Q_m$  é a média das vazões, calculada a partir de valores horários para a seção durante um ciclo de maré, em  $m^3/s$  e,  $\xi$  (ciclo de maré) foi calculado tendo como base o período de maré no canal estuarino. A média das vazões observadas para cada período avaliado foi obtida a partir da equação II.

$$Q_m = \frac{\sum_{i=1}^n Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}{n} \quad \text{Equação II}$$

O volume de água doce existente na massa de água total estuarina,  $V_{fw}$ , em  $m^3$ , foi obtido a partir da equação III. A partir desse valor, considerando-se o volume de água total, foi determinado o percentual de água doce para cada período avaliado.

$$V_{fw} = \frac{1}{v} \int \frac{S_o - S}{S_o} dv \quad \text{Equação III}$$

Na equação III  $S_o$  representa a salinidade observada regionalmente para a água do mar e  $S$  a média aritmética da salinidade medida *in situ*, a cada hora, para a seção do canal estuarino durante um ciclo de maré.

O tempo de residência foi calculado a partir do modelo proposto por PRITCHARD (1960), que considera o prisma de maré da região em estudo (Equação IV), onde  $Q_i$  é a resultante do fluxo de entrada e saída do canal estuarino, durante o ciclo de maré.

$$TR = \frac{V_{fw}}{Q_i} \quad \text{Equação IV}$$

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando-se que toda água doce do estuário tem origem fluvial observou-se que no mês de setembro de 2005 o volume hídrico total foi de  $4,5 \times 10^6 m^3$  na interface zona de maré do rio e de mistura estuarina. Deste volume apenas 11,7% corresponderam à contribuição fluvial.

Em fevereiro de 2006 o volume de água total atingiu a mesma ordem de grandeza de setembro de 2005, entretanto em valores absolutos houve uma redução de 43% da vazão estuarina que totalizou  $2,6 \times 10^6 m^3$ , porém a contribuição fluvial foi similar e atingiu 14,7% do volume hídrico total.

Para o mês de junho de 2006, houve aumento do domínio fluvial com volume hídrico total na interface zona de maré do rio e de mistura estuarina de  $8,4 \times 10^6 m^3$ , representando o dobro da vazão observada no período seco de 2005. Neste período o volume de água doce atingiu 95% do volume hídrico total.

Embora esteja sendo considerada a contribuição de água doce como de origem fluvial, outros fatores para discriminar esse aporte devem ser considerados, tais como: a rotina de operação dos grandes reservatórios existentes na bacia do rio Jaguaribe, que disponibilizam volumes de água doce compatíveis com a demanda hídrica local; a drenagem da bacia inferior do rio Jaguaribe que provavelmente tem contribuição significativa dos aquíferos naturais das regiões das grandes dunas presentes na região estuarina, e outros.

O tempo de residência (TR) das águas estuarinas na interface estudada, no mês de setembro de 2005, foi de 3 horas, passando a 2 horas em fevereiro de 2006 e atingindo o máximo de 12 horas no mês de junho de 2006. DIAS e colaboradores (2005b) em estudo realizado no estuário do rio Jaguaribe para o ano de 2004, caracterizou o tempo de residência (TR) no período chuvoso como sendo de 12 horas, enquanto que no período seco o TR foi de até 13 dias. Quando comparados os volumes hídricos medidos nos dois estudos observou-se que apesar do sistema estuarino apresentar um volume considerável de água doce nos períodos chuvosos (em torno de 92% do volume total) a vazão hídrica foi distinta entre os dois períodos. Em 2006 a vazão hídrica total foi de  $183 m^3/s$  (Dias *et al.*, em preparação), cerca de uma ordem de grandeza inferior aquela do período chuvoso de 2004 de  $1000 m^3/s$ . O segundo fator determinante do tempo de residência, as vazões, pode ou não apresentar competência para o rompimento da barreira física imposta pelo regime de marés. Ou seja, nos meses de pouca ou nenhuma precipitação onde o volume de água doce é mínimo (cerca de 12% do volume hídrico total) o domínio de águas marinhas é notório fazendo com que essa massa d'água marinha entre e saia do sistema estuarino com maior facilidade, diminuindo o TR das águas estuarinas na interface zona de maré do rio e de mistura estuarina.

## CONCLUSÕES

O volume de água doce no canal estuarino do rio Jaguaribe (CE) variou segundo a sazonalidade climática observada na região em estudo, acompanhando a climatologia regional, onde os maiores volumes de água doce foram observados nos períodos de maiores precipitações atingindo cerca de 92% do volume hídrico total para o período de 2004 a 2006. Entretanto, o tempo de residência (TR) da água estuarina, parâmetro físico relevante como ferramenta de avaliação da qualidade da água, embora também tenha apresentado variabilidade climática, mostrou ter forte dependência da vazão hídrica total estuarina. Em anos de grandes deflúvios, o estuário mostrou ser fortemente controlado pelo regime fluvial, entretanto o grande volume de água doce não é o fator determinante para a competência em romper a barreira física imposta pelo regime de marés, e sim a vazão hídrica total. Quando a vazão hídrica foi da ordem de 183 m<sup>3</sup>/s o TR aumentou substancialmente, mostrando que quando as vazões são baixas mesmo em período chuvoso é necessário monitoramento das águas estuarinas com maior frequência, pois efluentes urbanos e domésticos descarregados nesta região podem ter efeitos negativos ampliados devido a baixa capacidade de renovação das águas estuarinas.

Estudos complementares discriminatórios da origem da água doce para a bacia inferior e principalmente para a porção estuarina do rio Jaguaribe poderão complementar este estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREA, CUCCO.; GEORG, UMGIESSER. 2006. Modeling the Venice Lagoon residence time. *Ecological Modelling*. Vol.193.34–51.
- CAMPOS, M.; BRAGA, A. P. G.; MELLO, A. A.; SOUZA, E. M.; SILVA, F.A. F.; FRANÇA, J. B. 1979. Projeto Rio Jaguaribe, estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba: relatório final de geologia. Brasília: **DNPM**. 149 p.
- DIAS, F. J. S.; MARINS, R. V.; MAIA, L. P. 2005a. Descargas de cobre e zinco no material em suspensão do estuário do rio Jaguaribe (CE), Nordeste - Brasil. In: **Anais X Congresso Brasileiro de Geoquímica e II Simpósio de Geoquímica dos Países do Mercosul**, 2005, Porto Galinhas, PE.
- DIAS, F. J. S.; MARINS, R. V.; MAIA, L. P. 2005b. Modelo de funcionamento hidrológico para o estuário do rio Jaguaribe – CE. In: **X Congresso Brasileiro de Limnologia**, 2005, Ilhéus – Ba. Anais do X Congresso Brasileiro de Limnologia. São Paulo: Sociedade Brasileira de Limnologia. Volume único. p706.
- DIAS, F. J. S.; MARINS, R. V.; MAIA, L. P. Hydrology of a well-mixed estuary at the semi-arid NE Brazilian coast. (**Em Preparação**).
- DIAS, F.J. 2005. Avaliação da descarga e geoquímica do material em suspensão do estuário do rio Jaguaribe (CE). Monografia. Departamento de Geologia. UFCE. 107p.
- M. GÓMEZ-GESTEIRA.; M. DE CASTRO.; R. PREGO. 2003. Dependence of the water residence time in Ria of Pontevedra (NW Spain) on the seawater inflow and the river discharge. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Vol. 58 .567–573.
- MARINS, R. V.; LACERDA, L. D.; ABREU, I. M. & DIAS, F. J. S. 2003. Efeitos da açudagem no rio Jaguaribe. *Revista Ciência Hoje*. 33(197): 66-70.
- MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. 2002. Princípios de oceanografia física de estuários. São Paulo: **Edusp**. 417 p.
- PHILIPPE, CIFFROY.; JEAN-LOUIS, REYSS.; FRANÇOISE SICLET. 2003. Determination of the residence time of suspended particles in the turbidity maximum of the Loire estuary by <sup>7</sup>Be analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Vol. 57. 553–568.
- PRITCHARD, D. W. (1960). Salt-balance and exchange rate for the Chincoteague Bay, Chesapeake. *Science*. Vol.1. 48–57.
- UFC. Universidade Federal do Ceará. Instituto de Ciências do Mar e outros. Atlas dos manguezais do Nordeste do Brasil: avaliação das áreas de manguezais dos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Fortaleza: **SEMACE**, 2006, 125p.