



XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ASPECTOS HIDRODINÂMICOS DO ESTUÁRIO DO RIO JAGUARIBE (CE) DURANTE A ESTAÇÃO SECA.

Eliane C. Truccolo¹; Barbara P. Paiva¹; Felipe F. Frota¹; José C. de Oliveira Filho¹; Luis D. Lacerda²; Carlos A. F. Schettini¹

RESUMO – O estuário do Rio Jaguaribe é o maior estuário ao longo da costa do estado do Ceará, no nordeste brasileiro, sendo caracterizado como um estuário tropical de baixo influxo devido a pequena descarga fluvial. A hidrodinâmica do sistema estuarino foi examinada através de uma série temporal de 23 dias de aquisição de dados de velocidade e direção e correntes, nível de água e dados de temperatura e salinidade em dois pontos no baixo estuário. O presente estudo indicou algumas importantes condições hidrodinâmicas tal como uma razoavelmente baixa salinidade contrária ao esperado para o fim da estação seca, a condição de bem misturado do estuário, curva assimétrica de altura e fase da maré - com atenuação da altura de maré para o interior e diferença de quase 2hs na sizígia (principalmente na baixamar) e de 1h na quadratura, o estuário é do tipo hiposíncrono neste trecho, a propagação da maré para o interior do sistema é influenciada pela fricção, e a predominância de flutuações mareais nas variáveis.

ABSTRACT – The Jaguaribe River estuary is the largest estuary along Ceará coastline, northeast Brazil, being characterized as a tropical low inflow estuary due to small river discharge. The estuarine hydrodynamics was examined using 23-day long records for currents, water level, and temperature-salinity data, at two positions near the mouth of the estuary. The present study indicated some important hydrodynamic conditions as a reasonably low salinity contrary to expected for the end of dry season, well-mixed circulation pattern, height and phase asymmetry on tidal curve with 2hs of phase lag in spring tide (low water) and 1h on neap tide, indicating a hyposincronic estuary type, the tidal wave propagation for the interior of system influenced by friction, and most of the measured variables were dominated by tidal frequency oscillations.

Palavras-Chave – Estuários tropicais, hidrodinâmica, baixo influxo.

1) Laboratório de Hidrodinâmica Costeira (LaHiCo) – Depto. de Oceanografia (DOcean) – Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) – Av. Prof. Moraes Rego, 1235 – Cidade Universitária – Recife – PE – CEP 50.670-901 – Telefone: (81) 2126 7222 – Fax: (81) 2126 8225 – Email: nane.truccolo@gmail.com

2) Instituto de Ciências do Mar (Labomar) – Universidade Federal do Ceará – Av. da Abolição, 3207 – Meireles – Fortaleza – CE – CEP 60.165-08

1. INTRODUÇÃO

Os estuários tropicais de regiões semiáridas, como o estuário do Rio Jaguaribe no nordeste brasileiro, são caracterizados como de baixo influxo devido a baixa descarga fluvial em períodos de estiagem, resultando na ausência da circulação estuarina clássica em duas camadas dirigida pela densidade (e.g. Largier, 2010). O estuário do Rio Jaguaribe é o maior estuário ao longo da costa do estado do Ceará, com uma extensão de 630 km e uma bacia de drenagem que cobre 52% da área do estado do Ceará (IBGE, 1999; Figura 1A), o que representa uma das maiores drenagens da região semiárida do nordeste brasileiro. A descarga fluvial é fortemente regulada pelo clima semiárido, existindo somente durante a estação chuvosa. Durante a estação seca a descarga é muito baixa, embora atualmente, devido as grandes barragens, uma pequena entrada de água doce é mantida mesmo em condições de estiagem. A descarga fluvial média é de aproximadamente $60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Não obstante, a condição de baixo influxo pode ser mantida, resultando na ausência da circulação estuarina clássica dirigida pela densidade. O estuário é relativamente estreito e se estende por uma distância de 35 km até a localidade de Itaiçaba (Figura 1B). As marés astronômicas locais são do tipo semi-diurno com máximas alturas em torno de 2,8 m durante a sizígia e em torno de 1,5 m na quadratura resultando em um regime de micro a meso maré (Schettini et al., 2011).

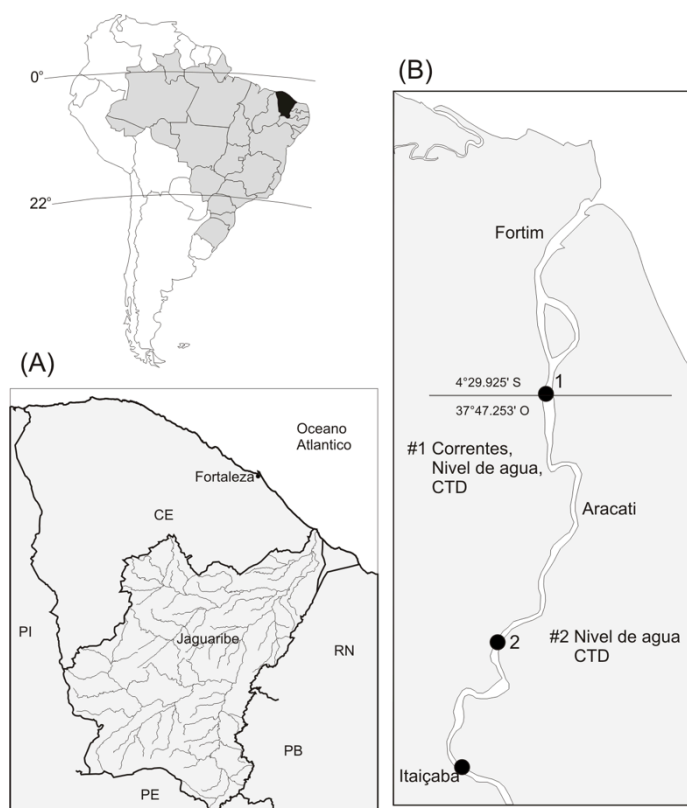


Figura 1: Localização da área de estudo: A) bacia hidrográfica e B) estações de coleta de dados.

2. MÉTODOS

A hidrodinâmica deste sistema foi examinada através de dados de velocidade e direção e correntes, nível de água e temperatura-salinidade em dois pontos no baixo estuário no período de 11 de Novembro a 03 de Dezembro/2010, totalizando 23 dias e cobrindo períodos de sizígia (24/Novembro) e quadratura (01/Dezembro). Para obtenção destes dados foram realizados fundeios de equipamentos de medição destes parâmetros próximo a desembocadura e a montante da foz estuarina (estações 1 e 2, Figura 1B). Um perfilador acústico de correntes por efeito Doppler, da marca Nortek™ modelo Aquadopp Profiler®, registrou dados de velocidade e direção de correntes próximo à desembocadura do estuário (#1), a cada 0,30 m de coluna de água a partir do fundo até próximo da superfície, totalizando 30 células, e também pressão da água que forneceu a variação do nível de água estuarino. Os dados foram registrados em intervalos de 10 minutos a partir de médias de 2 minutos de aquisição contínua. Os registros obtidos a partir dos programas proprietários de operação dos instrumentos em formato binário foram exportados em formato ASCII para posterior processamento em ambiente Matlab® (MathWorks Inc.). A maré foi registrada com intervalo amostral de 10 minutos através de sondas modelo CTD-Diver® da marca Schlumberger™ na estação 2.

Juntamente com as medições de correntes foram adquiridos valores contínuos de condutividade (convertidos para salinidade) e temperatura em duas profundidades (próxima a superfície e no fundo) através de sondas modelo Compact-CT®, da marca JFE™ nas estações 1 e 2 (Figura 1B). Salinidade e densidade da água foram calculadas segundo os algoritmos da Unesco PSS-78. As correntes estuarinas foram decompostas em componentes longitudinais (enchente/vazante) determinadas por inspeção visual de diagramas polares para cada célula (não mostrado) e integradas na vertical (Figura 2). A Figura 3 apresenta a série temporal das variáveis coletadas durante o período seco após processamento. Por convenção, correntes de enchente são definidas como positivas (em vermelho) e vazante como negativas (em azul). Todas as variáveis foram interpoladas para um intervalo temporal de 30 minutos.

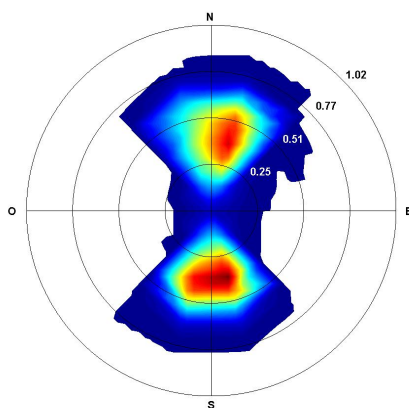


Figura 2: Diagrama polar de correntes integrado para toda coluna de água. As cores representam velocidades em $m.s^{-1}$.

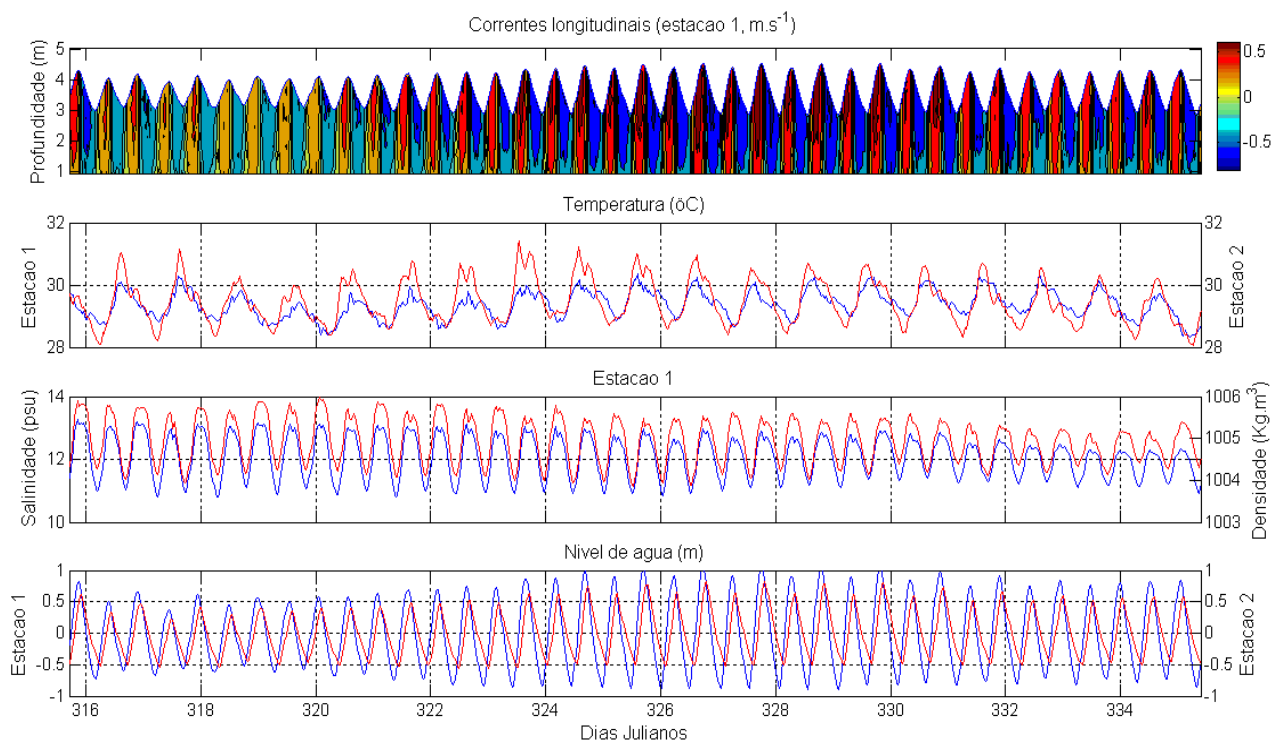


Figura 3: Séries temporais de dados: corrente longitudinal, temperatura, salinidade e densidade superficiais, e nível de água estuarino. A barra de cores apresenta as velocidades de corrente em $m.s^{-1}$. Para temperatura e nível de água, em azul estão indicadas as variáveis na estação 1 e em vermelho na estação 2.

3. RESULTADOS

As correntes longitudinais ao estuário apresentaram velocidades máximas de enchente e de vazante, integradas na vertical, da ordem de $0,69$ e $0,87 m.s^{-1}$ (Figura 2), respectivamente, e durante o período de sizígia (entre os dias 322 a 330, Figura 3). De forma geral, as correntes de vazante foram predominantes no estuário o que promoveu um transporte de águas menos salinas para jusante, no sentido estuário - oceano, como pode ser observado na manutenção de uma camada superficial hipohalina em períodos de sizígia e ao longo do período de estudo (Figura 3). Estas correntes foram dominadas por oscilações em frequências de marés semi-diurnas (em torno de 12 hs) e alguma energia em período diurno com é indicado na Figura 4, tendo as oscilações com sinal em frequências submareais (ou de longos períodos) pouco significativas.

Os dados de salinidade de fundo na estação 1 e superfície e fundo na estação 2 apresentaram valores suspeitos e foram descartados. No entanto, os dados de salinidade na superfície do canal foram menores do que o esperado, em vista do período de estiagem e descarga fluvial estável. O valor máximo observado neste período foi de apenas 14 psu, com uma variação significativamente pequena de apenas 2 psu, não sendo evidenciado os efeitos de níveis mais altos e correntes mais fortes durante a sizígia em aumentar a salinidade para valores próximos aos do oceano adjacente. Com este resultado e considerando o descrito em Frota et al. (2013), é sugerido que o estuário

apresentou uma estrutura vertical bem misturada em períodos de dias e com a descarga fluvial estabilizada, como é o caso devido aos efeitos das barragens que atuam como reguladoras do fluxo de água doce. Em períodos menores como ciclos de marés (25 hs), a estrutura vertical pode se alternar de um tipo estratificado a parcialmente misturado (e.g. Frota et al., 2013 e Schettini, comunicação pessoal).

A temperatura superficial ao longo do estuário foi aproximadamente similar no trecho estudado, com maiores variações em torno de 28 a 31°C durante a sizígia, e flutuações em frequências diárias (Figuras 3 e 4) devido ao aquecimento solar.

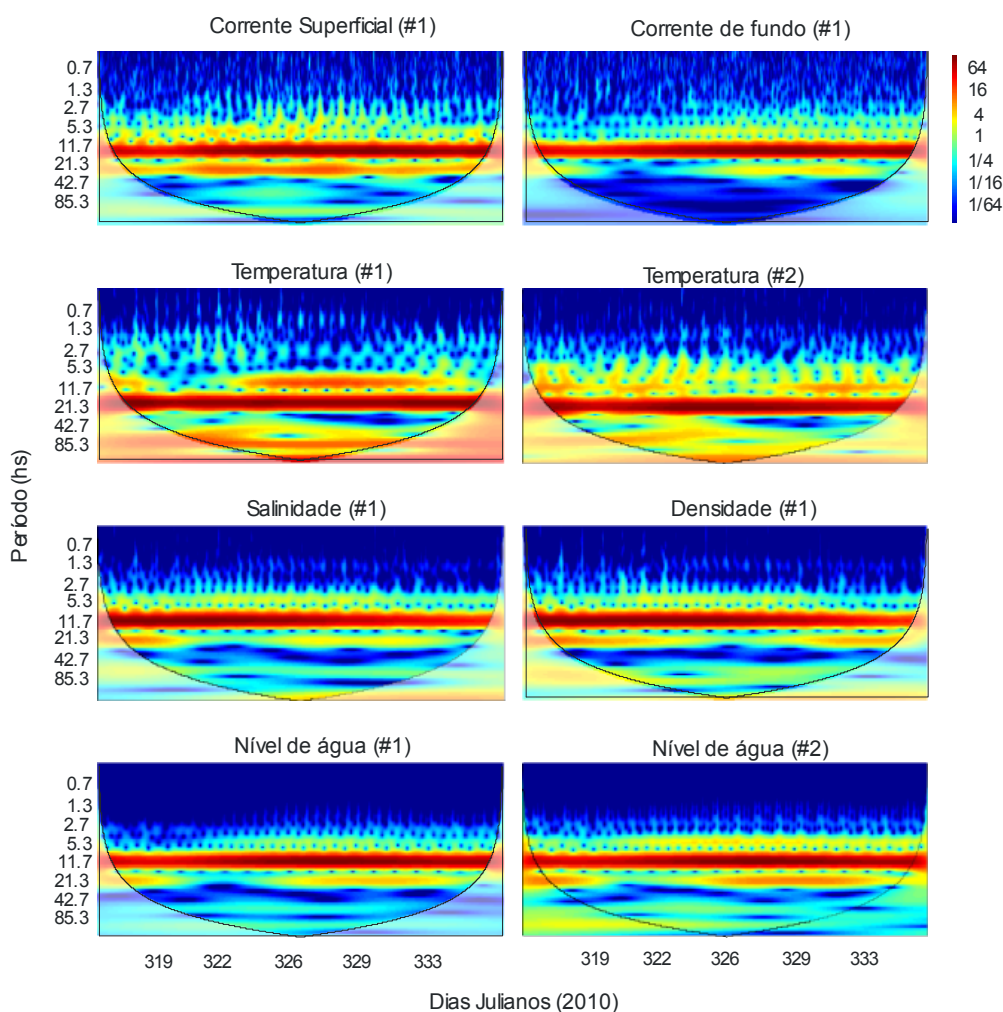


Figura 4: Espectros de potência de correntes superficiais e de fundo na estação 1, temperatura nas estações 1 e 2, salinidade e densidade superficiais na estação 1, e nível estuarino nas estações 1 e 2. A barra de cores representa a variância e a linha preta indica o cone de influência (região onde a informação tem confiabilidade estatística).

Os níveis de água apresentaram variações aproximadamente de 2,0 m notadamente em período de sizígia (Figura 3), porém menores em torno de 1,5 m na estação 2, mais interna ao estuário. Além disso, foi observado que entre as duas estações os níveis apresentaram assimetrias não somente de altura mas também de fase (Figura 3), com diferença de quase 2hs na sizígia (principalmente na baixamar) e aproximadamente de 1h na quadratura. Esta assimetria indica que

nesta porção o estuário é do tipo hiposíncrono, devido aos níveis na estação mais a montante da desembocadura serem mais atenuados. A maré ao se propagar para o interior de estuários sofre distorções na sua simetria, altura e fase, devido à interação com a morfologia do estuário. No caso deste estudo, a fricção torna-se mais importante na porção mais interna do estuário, acarretando na dissipação de energia e conseqüente diminuição da altura. Deste modo, a fricção tem um papel importante na propagação da onda de maré para o interior do estuário pois oscilações na descarga fluvial e ocorrência de marés meteorológicas costeiras, que poderiam influenciar na geração ou transferência de energia entre harmônicos de maré, não foram observadas durante o estudo. Similar ao comportamento das correntes, os níveis de água estuarinos próximos a desembocadura do estuário foram bem correlacionados com as oscilações mareais, sendo indicado pela significativa energia em períodos em torno de 12 hs e menores em 25hs (Figura 4).

4. CONCLUSÕES

O presente estudo indicou algumas importantes condições hidrodinâmicas tal como:

1. uma razoável baixa salinidade contrária ao esperado para um estuário do tipo baixo influxo e para o período de estudo - descarga fluvial estabilizada e fim da estação seca,
2. a condição de bem misturado do estuário durante o estudo,
3. curva assimétrica de altura e fase da maré, com atenuação da altura para o interior e com diferença de fase de quase 2hs na sizígia (principalmente na baixamar) e aproximadamente de 1h na quadratura nesta porção,
4. neste trecho o estuário é do tipo hiposíncrono,
5. a propagação da maré para o interior do sistema pode ser influenciada pela fricção,
6. e a predominância de flutuações mareais nas variáveis.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor foi bolsista de pós-doutorado Capes-PNPD (PE-PNPD 1792/2008) durante o estudo. Carlos A.F. Schettini é bolsista de pesquisa do CNPq. O trabalho teve apoio do Instituto Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação – Transferência de Materiais na Interface Continente Oceano, sendo coordenado por Luís D. Lacerda.

BIBLIOGRAFIA

FROTA, F.F.; PAIVA, B.P.; SCHETTINI, C.A.F. (2013). *“Intra-tidal variation of stratification in a semi-arid estuary under the impact of flow regulation”*. Brazilian Journal of Oceanography, 61(1): 23 – 33.

GRINSTED, A.; MOORE, J.C.; JEVREJEVA, S. (2004). “*Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series*”. *Nonlinear Processes in Geophysics*. 11, pp. 561 - 566.

IBGE. 1999. *Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Jaguaribe*. IBGE. Rio de Janeiro. 77p.

LARGIER, L. (2010). “*Low-inflow estuaries: hypersaline, inverse, and thermal scenarios*”, in *Contemporary issues in estuarine physics*. Org. por Valle-Levinson, A., Cambridge, ed. Cambridge Press, pp. 247 - 272.

SCHETTINI, C.A.F.; MAIA, L.P.; TRUCCOLO, E.C. (2011). “*Análise da variabilidade do nível da água na costa de Fortaleza, Ceará*”. *Arquivos de Ciências do Mar*, 44(1): 27 - 32.

TORRENCE, C.; COMPO, G. P. (1998). “*A Practical guide to wavelet analysis*”. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 79(1), pp. 61 - 78.

UNESCO. (1983), “*Algorithms for the computation of fundamental properties of seawater*”. *Unesco technical papers in marine sciences*. UNESCO, Paris, pp. 1 - 53.