



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR - LABOMAR
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

BÁRBARA PEREIRA PAIVA

**AVALIAÇÃO DA HIDRODINÂMICA DO ESTUÁRIO DO RIO ITANHÉM (BA) SOB
DIFERENTES CONDIÇÕES DE MARÉ E DE MORFOLOGIA DA
DESEMBOCADURA**

**FORTALEZA
2013**

BÁRBARA PEREIRA PAIVA

AVALIAÇÃO DA HIDRODINÂMICA DO ESTUÁRIO DO RIO ITANHÉM (BA) SOB
DIFERENTES CONDIÇÕES DE MARÉ E DE MORFOLOGIA DA
DESEMBOCADURA

Monografia apresentada ao Curso de graduação em Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto F.Schettini.

FORTALEZA

2013

BÁRBARA PEREIRA PAIVA

AVALIAÇÃO DA HIDRODINÂMICA DO ESTUÁRIO DO RIO ITANHÉM (BA) SOB
DIFERENTES CONDIÇÕES DE MARÉ E DE MORFOLOGIA DA
DESEMBOCADURA

Monografia apresentada ao Curso de graduação em Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Aprovada em __/__/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Maria Ozilea Bezerra Menezes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Marcos e Joana, por me ensinarem a importância e o valor da educação.

À minha família, especialmente à minha mãe (Joana), à minha irmã (Débora) e ao meu sobrinho (Gustavo), pelo apoio incondicional e por todos os momentos de descontração e alegria.

Ao Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini, pela paciência e apoio.

Aos meus amigos e companheiros de curso Évila Pinheiro, Felipe Facó, Gaia Tavares, Heitor Gentil e Wersângela Duaví por todas as risadas e pela companhia em todos os momentos.

Ao Felipe Facó, pelo companheirismo, carinho e incentivo ao longo do curso e deste trabalho.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é caracterizar a hidrodinâmica do estuário do rio Itanhém (BA), identificando a influência da morfologia da desembocadura sobre os processos físicos atuantes no estuário. Foram analisados dados de campanhas com duração de um ciclo de maré em condições de sizígia e de quadratura, em agosto de 2007 e em janeiro de 2008, totalizando quatro campanhas. Em estação fixa, próxima à foz do estuário, foram registradas informações de nível da água, salinidade, temperatura, turbidez e velocidade e direção das correntes. Foram analisados também dados de levantamentos longitudinais, com coleta de dados de salinidade, temperatura e turbidez a cada quilômetro. Em 2007, havia um pontal arenoso na desembocadura do rio, que deslocou a foz do canal estuarino. Em janeiro de 2008, esse pontal havia sido rompido, aproximando a foz da estação fixa. Foi identificada assimetria de maré no estuário, sendo esta mais pronunciada em condições de sizígia. O estuário se apresentou dominado por enchente em 2007, e por vazante em 2008. A possível causa dessa inversão é a alteração na morfologia da desembocadura, que pode ter afetado a capacidade de armazenamento entre-marés no estuário. Os perfis verticais médios de salinidade também apresentaram inversão entre 2007 (velocidade média positiva) e 2008 (velocidade média negativa), resultados condizentes com a inversão da assimetria. A estabilidade da coluna d'água sofreu inversão entre 2007 e 2008, com predominância de estabilidade em 2007 e de instabilidade em 2008. A intrusão salina avançou cerca de 6 km em condições de sizígia. A zona de turbidez máxima também avançou juntamente com a intrusão salina. Em 2008, os perfis longitudinais foram realizados na preamar, e o alcance da água salgada foi maior que em 2007, ano em que os perfis ocorreram na baixa-mar. A variação na morfologia da desembocadura do rio Itanhém foi a possível causa das alterações das características hidrodinâmicas avaliadas neste estuário.

Palavras-chave: Assimetria de Maré; Morfologia; Hidrodinâmica

ABSTRACT

The objective of this study is to characterize the hydrodynamics of the Itanhém Estuary (BA), under different morphology conditions. Data from four campaigns were analyzed. The campaigns lasted one tidal cycle and they were carried out comprising spring and neap tidal conditions, in August 2007 and January 2008. Information of water level, current speed and direction, salinity, temperature and turbidity were recorded in a fixed station. Longitudinal survey data were also analyzed: salinity, temperature and turbidity were registered every kilometer. In 2007, there was a sandy spit at the estuary mouth, which displaced the mouth of the estuarine channel. In January 2008, the spit was broken, approaching the mouth of the fixed station. Tidal asymmetry was identified in the estuary, which is more pronounced under spring tidal conditions. The estuary was flood-dominated in 2007, and ebb-dominated in 2008. A possible cause of this reversal is the change in the morphology, which may have affected the storage capacity of intertidal estuary. The average vertical profiles of salinity also showed inversion between 2007 (positive average velocity) and 2008 (negative average velocity), results consistent with the reversal of asymmetry. The stability of the water column changed between 2007 and 2008, with a predominance of stability in 2007 and instability in 2008. Saltwater intrusion has advanced about 6 km in spring tide conditions. The maximum turbidity zone also advanced. In 2008, the longitudinal surveys were performed at high tide, and the extent of seawater was higher than in 2007, the year in which the profiles occurred at low tide. The variation in the morphology of the river mouth was the possible cause of changes in hydrodynamic characteristics evaluated in this estuary.

Keywords: Tidal Asymmetry; Morphology; Hydrodynamics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo no contexto da América do Sul e do estado da Bahia, com indicação do local de coleta de dados da estação fixa.....	5
Figura 2 - Imagens LANDSAT-5 TM do estuário em estudo para os anos de 2007 (A) e 2008 (B).....	6
Figura 3 - Climatologia mensal de vazão do rio Itanhém entre os anos de 1970 e 2012.	7
Figura 4 - Fluxograma do processamento inicial dos dados.	12
Figura 5 - Histograma das direções das correntes em uma das campanhas antes da rotação do eixo.....	13
Figura 6 - Pressão registrada pelo equipamento. Os retângulos em vermelho indicam exemplos de períodos de tempo nos quais o equipamento permaneceu em um mesmo nível de coleta.	14
Figura 7 - Evolução temporal da estrutura vertical de velocidade (A), salinidade (B), temperatura (C) e MPS (D) durante a campanha de quadratura de 2007.	18
Figura 8 - Evolução temporal da estrutura vertical de velocidade (A), salinidade (B), temperatura (C) e MPS (D) durante a campanha de sizígia de 2007.....	19
Figura 9 - Evolução temporal da estrutura vertical de velocidade (A), salinidade (B), temperatura (C) e MPS (D) durante a campanha de quadratura de 2008.	21
Figura 10 - Evolução temporal da estrutura vertical de velocidade (A), salinidade (B), temperatura (C) e MPS (D) durante a campanha de sizígia de 2008.....	22
Figura 11 - Evolução temporal dos parâmetros registrados pelo CTD fundeado. A: Profundidade (m); B: Salinidade; C: Temperatura (°C); D: Turbidez (ftu).	23
Figura 12 - Perfis verticais médios de salinidade (A) e de velocidade (B) durante a campanha de quadratura de 2007.	25
Figura 13 - Perfis verticais médios de salinidade (A) e de velocidade (B) durante a campanha de sizígia de 2007.....	26
Figura 14 - Perfis verticais médios de salinidade (A) e de velocidade (B) durante a campanha de quadratura de 2008.	26

Figura 15 - Perfis verticais médios de salinidade (A) e de velocidade (B) durante a campanha de sizígia de 2008.....	27
Figura 16 - Perfil longitudinal de salinidade (A), temperatura (B) e MPS (C) para a campanha de quadratura de 2007.	28
Figura 17 - Perfil longitudinal de salinidade (A) e temperatura (B) para a campanha de sizígia de 2007.	29
Figura 18 - Perfil longitudinal de salinidade (A), temperatura (B) e MPS (C) para a campanha de quadratura de 2008.	30
Figura 19 - Perfil longitudinal de salinidade (A), temperatura (B) e MPS (C) para a campanha de sizígia de 2008.....	31
Figura 20 - Estabilidade na coluna d'água para as campanhas de quadratura (A) e sizígia (B) de 2007; e quadratura (C) e sizígia (D) de 2008. As partes azuis indicam estabilidade da estratificação, e as vermelhas, instabilidade.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média de vazão para os períodos seco (Ago-Set) e chuvoso (Nov-Jan) entre 1970 e 2012 e para os meses das campanhas (Ago/2007 e Jan/2008).	7
Tabela 2 - Resumo dos resultados obtidos na estação fixa para as quatro campanhas.....	16
Tabela 4 - Valores máximos, mínimos e médios nos perfis verticais médios de velocidade longitudinal e de salinidade para as quatro campanhas.....	24
Tabela 3 – Resumo dos dados de estação fixa em termos de diferença entre as fases de maré.....	33
Tabela 5 - Resumo dos resultados dos perfis longitudinais realizados nas quatro campanhas.....	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Área de Estudo	4
2	OBJETIVOS	9
2.1	Objetivo Geral	9
2.2	Objetivos Específicos	9
3	MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1	Coleta de Dados	10
3.2	Processamento de Dados	11
3.2.1	<i>Dados de Velocidade</i>	13
3.2.2	<i>Dados da Estação Fixa</i>	14
3.2.3	<i>Dados de MPS</i>	15
4	RESULTADOS	16
4.1	Evolução Temporal em Estação Fixa	16
4.2	Perfis Verticais Médios	23
4.3	Perfis Longitudinais	27
5	DISCUSSÃO	33
5.1	Assimetria de Maré no Estuário	33
5.2	Estabilidade da Coluna d'Água	36
5.3	Intrusão Salina	38
6	CONCLUSÕES	40
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

Os estuários são ambientes de transição onde ocorre a interação entre o rio e o mar. No que se refere à hidrodinâmica, um estuário pode ser definido como um corpo de água costeiro semi-fechado, com livre conexão com o mar, onde a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce, de origem continental, e que se estende até o limite de influência da maré (PRITCHARD, 1955; CAMERON & PRITCHARD, 1963; FAIRBRIDGE, 1980).

As características físicas e hidrodinâmicas de um estuário podem sofrer variações ao longo de seu curso. De acordo com Dionne (1963) essas diferenças permitem classificar o estuário em três regiões: alto estuário (a salinidade é praticamente zero, e apenas são observados os efeitos da maré); médio estuário (local de interação entre as águas oceânicas e continentais); e baixo estuário (região onde predominam os processos oceânicos). Os limites entre os três setores não são estáticos, e dependem das correntes de maré, da intensidade da descarga fluvial e da influência do vento (MIRANDA et al., 2002). Mudanças nos processos oceanográficos atuantes podem resultar em características geomorfológicas e sedimentológicas distintas em cada uma dessas regiões (DALRYMPLE *et al.*, 1992).

O estuário também pode ser dividido de acordo com os processos regionais atuantes na formação desses ambientes. Nesse caso, as três zonas estuarinas são: (i) Zona de Maré de Rio (ZR): região que sofre influência da maré, porém apresenta salinidade praticamente nula; (ii) Zona de Mistura (ZM): região de mistura entre a água doce de origem continental e a água salgada proveniente do mar; (iii) Zona Costeira (ZC): região costeira que se estende até a frente da pluma de maré (KJERFVE, 1987). Na zona de transição entre ZM e ZR, pode haver elevação na concentração de material em suspensão, surgindo uma área denominada zona de turbidez máxima (POSTMA, 1967). Os sedimentos podem adsorver contaminantes ou provocar assoreamento, fator que incentiva diversos estudos acerca das variações no posicionamento da zona de turbidez máxima (e.g. FESTA & HANSEN, 1978; WOLANSKI *et al.*, 1995; WOODRUFF *et al.*, 2001).

A propagação da onda de maré no estuário não é a mesma que em oceano aberto. As marés oceânicas são geralmente simétricas, ou seja, enchente e vazante têm praticamente a mesma duração. A onda de maré sofre alterações conforme se aproxima da região costeira. As variações das características dessa onda ocorrem principalmente devido às interações com a linha de costa e às mudanças de profundidade do fundo marinho (PARKER, 1991). Pode ocorrer distorção dessa onda ao longo do curso do estuário, dependendo da profundidade e da largura do canal. (FRIEDRICHS & AUBREY, 1988; WRIGTH *et al.*, 1999).

Assimetria de maré no estuário resulta de processos não-lineares, que promovem o crescimento de constituintes harmônicas de alta frequência da maré astronômica (DRONKERS, 1964; SPEER & AUBREY, 1985). Harmônicos de maior altura tornam a maré assimétrica, fenômeno chamado de assimetria de maré barotrópica, uma vez que distorce a superfície livre e provoca dominância de maré de enchente ou de vazante.

Estudos realizados por Aubrey & Speer (1985) evidenciaram essa interação não-linear entre as constituintes de maré. Os autores constataram que apesar da atenuação da onda de maré pela fricção no interior do estuário, as componentes M_2 , S_2 e N_2 , alcançaram uma amplitude significativa em relação às demais, resultando em uma distorção persistente da onda de maré no estuário.

As distorções que promovem assimetria de maré em estuários decorrem de dois efeitos principais e pode ser mensurada através de dois parâmetros, cuja análise permite também identificar os diferentes tipos de assimetria (BOON e BYRNE, 1981; SPEER & AUBREY, 1985; DRONKERS, 1986; FRIEDRICHS & AUBREY, 1988). O primeiro diz respeito à interação friccional entre a onda de maré e as bordas do canal estuarino, o que pode originar enchentes relativamente mais curtas. Este parâmetro é calculado pela razão a/h , que corresponde à relação entre a amplitude da constituinte M_2 e a profundidade média do estuário. O segundo parâmetro corresponde ao armazenamento entre-marés e é obtido através da relação entre o volume do armazenamento entre-marés e o volume do canal no nível do mar (V_s/V_c). Estuários com elevado armazenamento entre-marés apresentam vazantes de menor duração relativa (FRIEDRICHS & AUBREY, 1988).

A assimetria de maré influencia não só a evolução geológica de estuários rasos, mas também a navegabilidade em canais estuarinos (AUBREY & SPEER, 1985), sendo particularmente relevante para a dinâmica sedimentar. A importância de marés assimétricas no transporte e acúmulo de sedimentos em estuários rasos é bem estabelecida (e.g. POSTMA, 1967; GROEN, 1967; DRONKERS, 1985; AUBREY, 1986; RIDDERINKHOF, 1997; VAN DE KREEKE & DUNSBERGEN, 2000; MOORE *et al.*, 2009). Estuários dominados por enchente se caracterizam por enchentes de menor duração que vazantes, porém exibem correntes de enchente mais intensas. Esse tipo de estuário pode ser incapaz de lavar de maneira eficaz os sedimentos que entram no estuário e tendem a acumular sedimentos grosseiros. Sistemas dominados por vazante apresentam correntes de vazante mais intensas, com períodos de enchente mais prolongados e menos intensos. Esses estuários apresentam maior eficiência no transporte de sedimentos em direção ao mar e podem apresentar configurações geométricas mais estáveis (SPEER & AUBREY, 1985; AUBREY, 1986; FRIEDRICHS & AUBREY, 1988).

Alguns aspectos hidrodinâmicos e geomorfológicos podem influenciar as trocas de água entre o estuário e a região costeira adjacente. Por exemplo, no litoral nordeste do Brasil são encontradas formações de recifes de corais na zona costeira, o que constitui um obstáculo para essa interação. A arrebentação de ondas e o transporte litorâneo podem acumular sedimentos na entrada de estuários. Por outro lado, os processos erosivos na entrada de estuários acarretam resultados opostos ao do transporte litorâneo, ambos alterando as características geomorfológicas desses corpos de água (MIRANDA *et al.*, 2002).

No extremo sul da Bahia, encontra-se o Parque Nacional Marinho de Abrolhos, um complexo recifal composto por ilhas vulcânicas, recifes de corais, bancos rasos e canais profundos. Esse sistema é o maior e mais rico do Oceano Atlântico Sul. A plataforma continental na região tem largura média de 50 Km. No banco de abrolhos, essa largura chega a 200 km (LEÃO, 2002). Existem cinco rios cujas desembocaduras se localizam próximas ao complexo recifal: Caravelas, Peruípe, Itanhém, Jucuruçu e Buranhém (PEREIRA *et al.*, 2010).

A hidrodinâmica da área em questão já foi abordada por Schettini & Miranda (2010) avaliaram o estuário de Caravelas quanto à circulação e à dinâmica de

sedimentos em suspensão. Neste estudo, o estuário foi classificado como bem misturado, com dominância das correntes de vazante. Pereira *et al.* (2010) caracterizaram o estuário do rio Caravelas quanto à hidrodinâmica e ao transporte de material particulado em suspensão. O resultado aponta para uma hidrodinâmica modulada pela altura de maré.

1.1 Área de Estudo

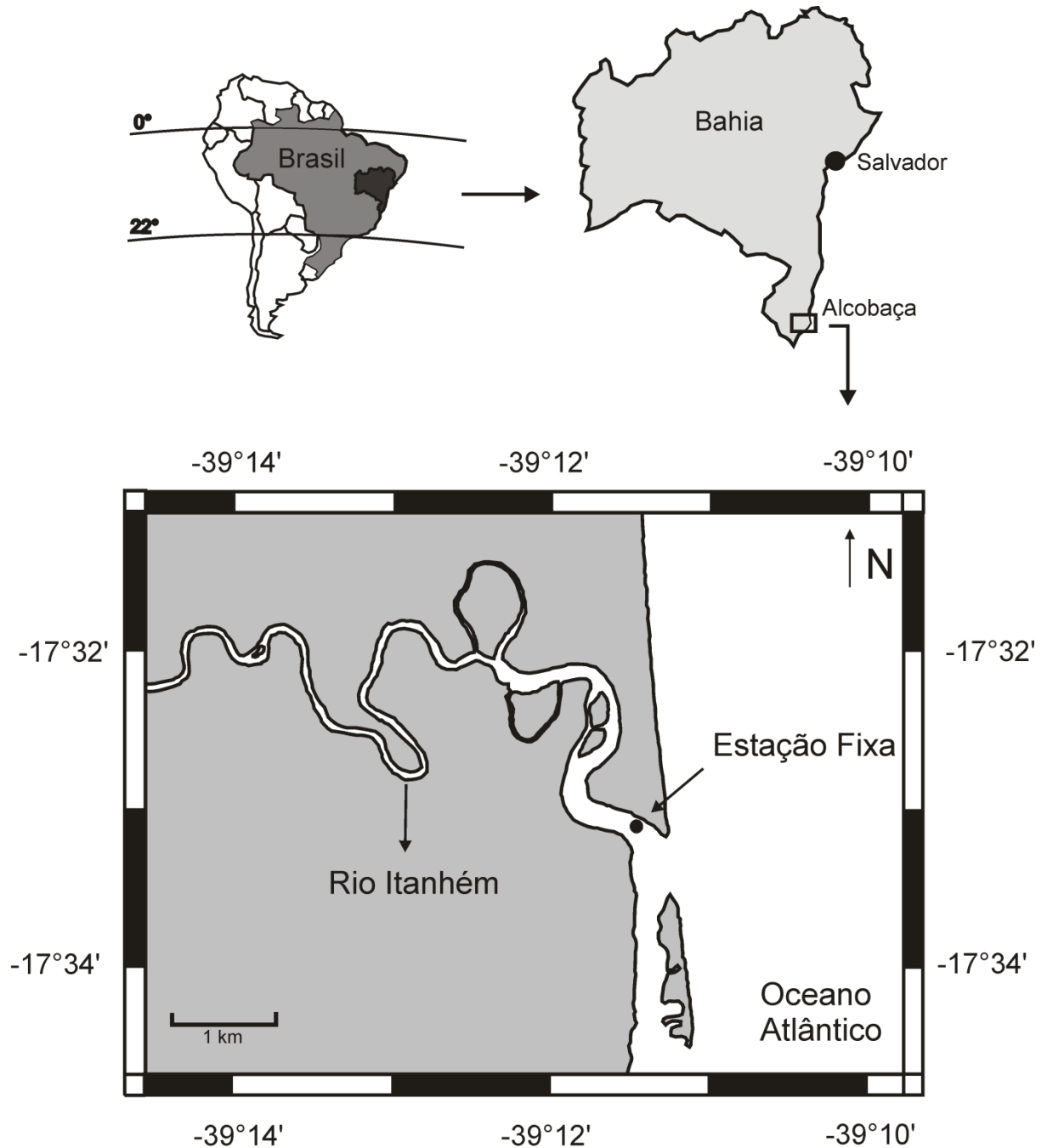
A área de estudo compreende o estuário do rio Itanhém (Figura 1), localizado no sul do estado Bahia, no município de Alcobaça (17°31'10"S; 39°11'44"W). O município possui uma área de 1510,9 km² e população de 23.000 habitantes. O rio Itanhém nasce no município de Fronteira dos Vales (Minas Gerais), percorre 248 km de extensão (MMA/SRH 1997) e deságua na Praia da Barra. Este local constitui um importante ponto turístico de Alcobaça pela possibilidade de prática de esportes aquáticos e pesca esportiva.

A bacia hidrográfica ocupa uma área de 6160 km², sendo seus principais tributários os córregos Água Fria e Itanhetinga. Dentre os componentes de bacias do sul da Bahia, o rio Itanhém representa o de maior extensão, e sua área de drenagem abrange 20% dos rios da região. Na região estuarina, o rio apresenta declividade média de 1:1000.

No estuário, existem ainda brejos e manguezais, mas é possível observar erosão e retenção de sedimentos no canal fluvial (ANDRADE & DOMINGUEZ, 2002). O entorno do rio Itanhém sofre desflorestamento desde os anos 1970, e as modificações na dinâmica sedimentar do canal fluvial têm sido atribuídas a esse fator (ADDAD & MARTINS-NETO, 2000).

As marés na área de estudo apresentam regime semi-diurno, com altura máxima de 2,3 m no período de sizígia e mínima de 0,5 m durante a quadratura (LEÃO, 2002). O estuário é formado principalmente por sedimentos lamosos e apresenta sedimentos arenosos na área de encontro do rio com o mar.

Figura 1 - Localização da área de estudo no contexto da América do Sul e do estado da Bahia, com indicação do local de coleta de dados da estação fixa.

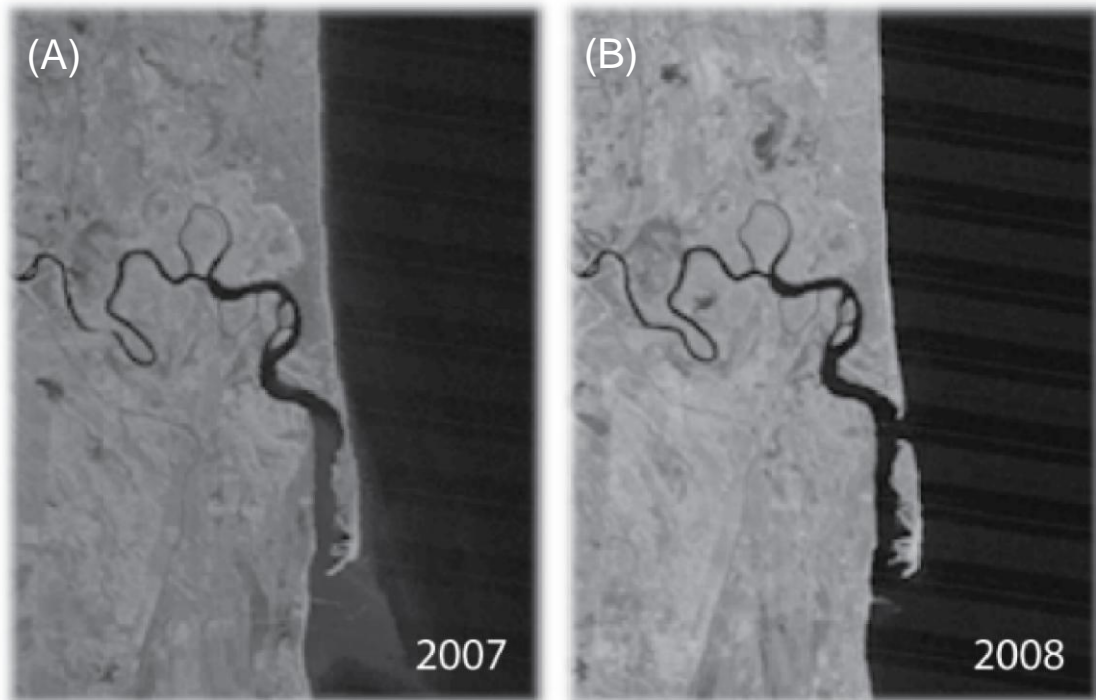


Fonte: o autor

A foz do rio Itanhém exibe grande dinamismo morfológico. Na desembocadura do rio, existe um pontal arenoso que exibe variações consideráveis ao longo dos anos, contribuindo para a migração do canal. Cussioli (2010) descreveu a evolução morfológica da desembocadura do rio Itanhém entre os anos de 1987 e 2009, com base em imagens de satélite. O resultado observado foi uma

ruptura do pontal arenoso associado à desembocadura em setembro de 2007 (Figura 2). Segundo a autora, a nova abertura apresentou-se com 336 metros de extensão, e o pontal arenoso passou a ser um banco de areia com aproximadamente 1840 metros de comprimento.

Figura 2 - Imagens LANDSAT-5 TM do estuário em estudo para os anos de 2007 (A) e 2008 (B).



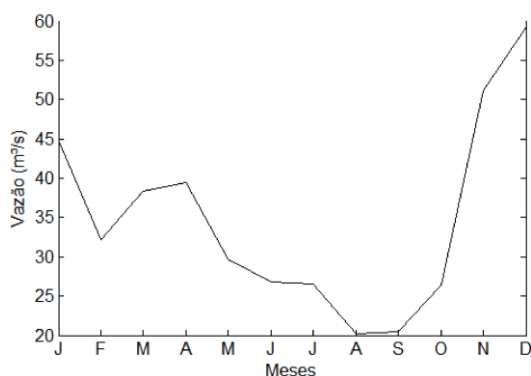
Fonte: Adaptado de Cussioli, 2010.

As correntes de deriva são o fator de maior relevância para a formação das atuais feições da linha de costa, atuando principalmente no transporte de sedimentos. A intensificação da sedimentação no delta é acompanhada de assoreamento da desembocadura do rio. Esse problema tem afetado a pesca e o turismo, principais atividades econômicas do município de Alcobaça (RIBEIRO *et al.*, 2000).

Os dados de vazão do rio Itanhém foram obtidos a partir do sistema Hidroweb de informações hidrológicas disponibilizadas pela Agência Nacional de Águas (ANA). Esse sistema fornece dados de vazão do rio Itanhém com início em 1970. A partir dessas séries históricas, foi possível calcular a média mensal de vazão de 1970 a 2012 (Figura 3). As maiores médias mensais de vazão são observadas entre os meses de novembro e janeiro. Em agosto e setembro, ocorrem

as menores médias (Tabela 1). O planejamento das campanhas considerou esses dados e objetivou a realização de campanhas em período seco (agosto) e período chuvoso (janeiro).

Figura 3 - Climatologia mensal de vazão do rio Itanhém entre os anos de 1970 e 2012.



Fonte: o autor. Dados da Agência Nacional de Águas (ANA).

Para a análise da vazão nos períodos de campanha, foi calculada a média da vazão em agosto de 2007 e em janeiro de 2008. O primeiro período apresentou média de vazão de $22,01 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, estando de acordo com a média para períodos secos. O mês de janeiro de 2008, contudo, foi um período atípico, com ocorrência de baixa precipitação, o que resultou em uma vazão média de $22,81 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ para esse mês. As condições de vazão foram praticamente as mesmas para as campanhas de 2007 e de 2008, não havendo distinção entre período seco e chuvoso.

Tabela 1 - Média de vazão para os períodos seco (Ago-Set) e chuvoso (Nov-Jan) entre 1970 e 2012 e para os meses das campanhas (Ago/2007 e Jan/2008).

Período	Média de vazão ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)
Ago-Set (1970-2012)	20,30
Nov-Jan (1970 – 2012)	51,72
Ago (2007)	22,01
Jan (2008)	22,81

A vazão do rio Itanhém também foi medida durante as campanhas, obtendo-se um valor de $45 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ para as campanhas de período seco e de $33 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ durante o período chuvoso (PEREIRA *et al*, 2010).

Estudos acerca da hidrodinâmica no estuário do rio Itanhém são ainda escassos. O efeito da morfodinâmica da desembocadura sobre os processos

hidrodinâmicos ainda não é bem compreendido e contribui para aumentar a fragilidade da área. A compreensão dessa evolução pode auxiliar o entendimento da dinâmica sedimentar local e da atuação do estuário como retentor ou exportador de material.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo contribuir para a caracterização da hidrodinâmica no estuário do rio Itanhém, BA.

2.2 Objetivos Específicos

- Descrever as correntes de maré no interior do estuário em estudo a partir de dados hidrodinâmicos coletados *in situ*.
- Estabelecer uma comparação entre o comportamento dos parâmetros hidrodinâmicos em condições de maré de sizígia e de quadratura;
- Analisar a influência da morfologia da desembocadura no comportamento das correntes de maré no interior do estuário;
- Comparar a estabilidade da coluna d'água em condições de sizígia e quadratura e em diferentes condições de assimetria de maré.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Coleta de Dados

Para a coleta de dados, foram realizadas quatro campanhas no estuário do rio Itanhém (BA). A maré é semi-diurna, o que justifica a duração de 13 horas (um ciclo de maré) para cada coleta. As campanhas ocorreram em 2007 e 2008, em condições de sizígia e quadratura. Em 2007, as campanhas de quadratura e sizígia ocorreram durante o período seco, nos dias 23 e 29 de agosto, respectivamente. No ano de 2008, as campanhas foram realizadas durante a estação chuvosa, sendo a quadratura no dia 17 de janeiro e a sizígia no dia 24 do mesmo mês.

Em todas as campanhas, foi estabelecida uma mesma estação fixa, localizada em 17°33'03"S e 39°11'32"W. Nessa estação, foram coletados dados de nível da água, velocidade e direção das correntes, salinidade, temperatura e turbidez em intervalos de 30 minutos.

Em cada campanha foi realizado também um levantamento longitudinal ao longo do estuário, partindo da foz em direção a montante, até o limite superior da intrusão salina. Os levantamentos longitudinais duraram cerca de uma hora cada, período que permite uma visão quase sinóptica do estuário. Em 2007, estes perfis foram realizados em horário próximo à baixamar. Nas campanhas de 2008, os perfis longitudinais ocorreram próximos à preamar. Nesses perfis, foram coletados dados de condutividade, temperatura, turbidez e nível da água a cada quilômetro até aproximadamente 12 quilômetros da desembocadura.

No ano de 2007, os dados de velocidade e direção de correntes foram medidos através de um correntômetro Valeport modelo 108 MKIII, enquanto a turbidez foi determinada com uma sonda de retroespalhamento ótico (REO) da marca SeaPoint, através de leitura direta da voltagem. O levantamento longitudinal nesse período foi realizado com uma sonda CTD SensorData modelo SD 202 marca SAIV/AS e um GPS Garmin 12 XL para o registro da posição de cada perfil vertical de CTD. O registro do nível de água nesse período foi manual, ou seja, foram feitas anotações a partir da observação de uma régua em intervalos aproximados de meia

hora durante toda a campanha. Na campanha de sizígia desse ano, houve falha no registro de turbidez durante o perfil longitudinal.

Nas campanhas de 2008, a medição de velocidade e direção de correntes na estação fixa foi realizada com um correntômetro Falmouth 2D. A coleta foi realizada dispondo o equipamento em patamares a cada 0,5 metros, com duração de aproximada de 30 segundos em cada nível. Para a coleta de dados de salinidade, temperatura e pressão desse período, foi utilizada uma sonda CTD da marca JFE tanto na estação fixa quanto nos perfis longitudinais. A medição da turbidez nestas campanhas se deu através de um turbidímetro de REO acoplado à sonda CTD.

No ano de 2008, a oscilação do nível da água foi monitorada através de uma sonda CTD, fundeada do dia 15 ao dia 24 de janeiro de 2008 posicionada próximo à margem. A taxa de aquisição de dados do CTD fundeado foi a cada 20 minutos, tendo sido registrados dados de condutividade, temperatura, pressão e turbidez.

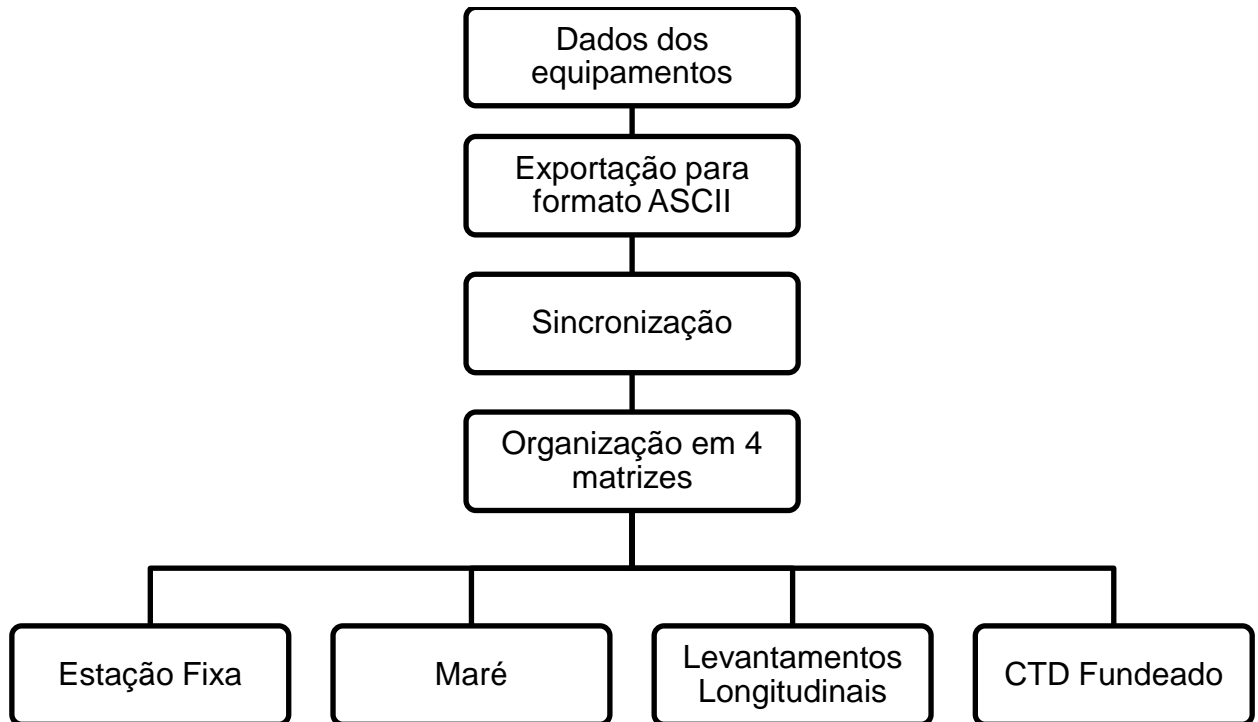
3.2 Processamento de Dados

Inicialmente, os dados fornecidos pelos diversos equipamentos durante as campanhas foram exportados em formato ASCII. As informações de uma mesma campanha foram sincronizadas através de interpolação dos tempos dos equipamentos para um mesmo tempo pré-determinado. Posteriormente, os dados foram organizados em quatro matrizes: estação fixa, maré, perfis longitudinais e CTD fundeado. Em cada matriz estavam compiladas informações das quatro campanhas realizadas (Figura 4).

A matriz de estação fixa apresentou dados de tempo (ano, mês, dia, hora e minuto), nível (obtido a partir da pressão), magnitude e direção da velocidade, salinidade, temperatura e turbidez referentes aos perfis de série temporal. A matriz de maré foi composta por colunas de tempo e de nível da água durante as campanhas. A base de dados de perfis longitudinais consistiu em informações de tempo, coordenadas geográficas dos pontos de coleta, nível de aquisição de dados, salinidade, temperatura e turbidez nesses pontos. A base de dados do CTD

fundeado foi composta de dados de tempo, salinidade, temperatura, pressão e turbidez.

Figura 4 - Fluxograma do processamento inicial dos dados.



Fonte: O autor.

A salinidade foi obtida a partir da condutividade se deu através das rotinas para MATLAB (MathWorks Inc.) disponibilizadas por Phil Morgan em <http://www.cmar.csiro.au>, que utilizam algoritmos para determinação da escala prática de salinidade de 1978 (FOFONOFF e MILLARD, 1983).

Os dados obtidos a partir dos equipamentos utilizados para os perfis temporais e longitudinais passaram também por filtro para a eliminação de dados espúrios. Para a metodologia utilizada nas campanhas de amostragem, esse filtro consistiu na eliminação dos 30 centímetros superiores e dos 30 centímetros inferiores da coluna d'água, sendo, para isso, utilizados dados de pressão. A justificativa para a retirada desses dados consiste na possibilidade de o equipamento estar fora d'água (no caso da superfície) ou de haver revolvimento de sedimentos e consequente alteração de turbidez (no que se refere ao fundo). Em todos os equipamentos, foram eliminados também os dados registrados com o

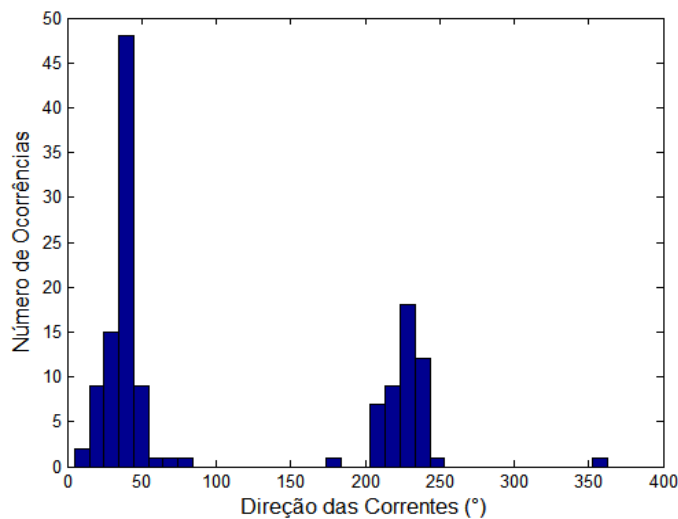
aparelho ainda fora d'água, reconhecidos a partir da observação das informações de pressão.

3.2.1 Dados de Velocidade

Os dados registrados pelos correntômetros consistem em valores de intensidade e direção das correntes. O correntômetro Falmouth fornece tanto as componentes norte-sul e leste-oeste das velocidades, como também a intensidade da corrente resultante e sua direção. O correntômetro Valeport registra apenas a magnitude da corrente resultante e sua direção.

Para a rotação do eixo das correntes de norte-sul/leste-oeste para longitudinal/transversal ao estuário, foi feito um histograma das direções registradas para cada campanha, nos quais se observou uma distribuição bimodal das direções (Figura 5). As modas encontradas correspondem às direções de correntes estuário adentro e saindo do estuário.

Figura 5 - Histograma das direções das correntes em uma das campanhas antes da rotação do eixo.



Fonte: O autor.

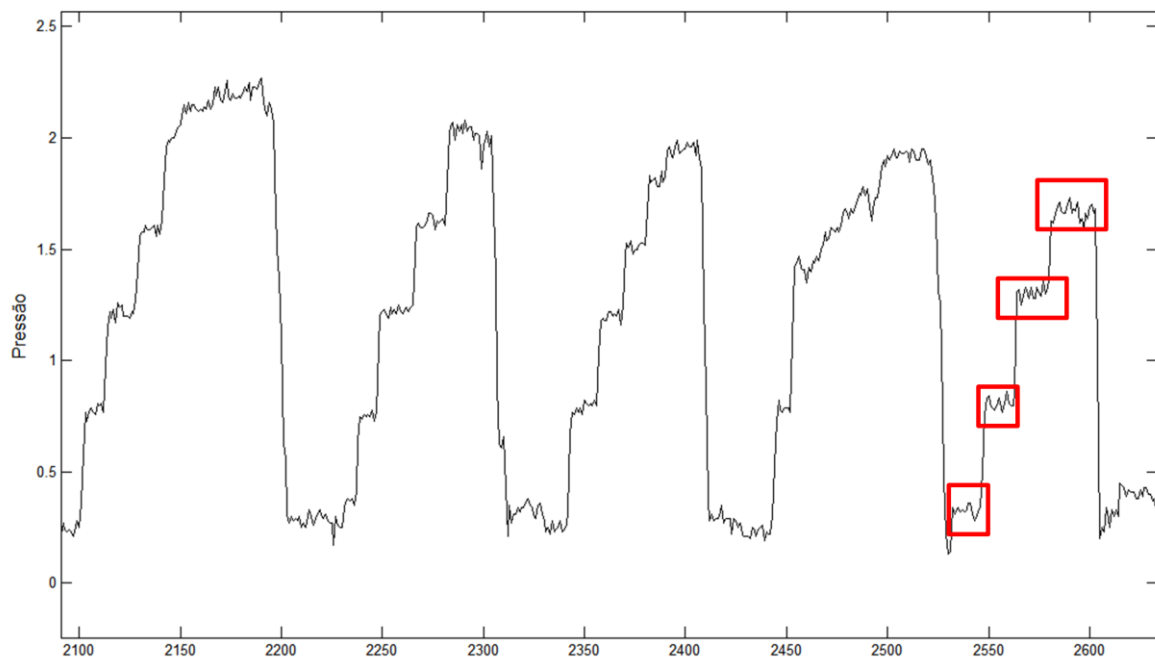
As direções foram rotacionadas em aproximadamente 50°. Após a rotação, as velocidades das correntes puderam ser decompostas em transversais e longitudinais ao estuário a partir da magnitude das velocidades e da nova direção obtida. No presente trabalho, foi convencionado que a velocidade positiva representaria correntes em direção à montante do estuário (correntes de enchente),

enquanto velocidades negativas indicariam correntes em direção à jusante (correntes de vazante).

3.2.2 Dados da Estação Fixa

Para os perfis realizados na estação fixa, primeiramente foram identificados os períodos em que o equipamento ficou estável na coluna d'água (Figura 6). Identificados por uma similaridade na pressão, foi feita uma média dos dados coletados para cada um destes períodos, obtendo-se, assim, apenas um dado de cada parâmetro para cada nível de coleta do perfil.

Figura 6 - Pressão registrada pelo equipamento. Os retângulos em vermelho indicam exemplos de períodos de tempo nos quais o equipamento permaneceu em um mesmo nível de coleta.



Fonte: o autor.

Devido à diferença quanto à quantidade de níveis amostrados em cada perfil, os dados foram reduzidos para profundidade adimensional, variando entre zero e um. Os dados foram, então, interpolados linearmente e reamostrados para cinco níveis em cada perfil. A variação de nível da água na série temporal foi calculada através da interpolação dos dados de maré para o tempo do equipamento da estação fixa, com posterior correção da pressão através dos dados de nível da água e média da pressão registrada.

3.2.3 Dados de MPS

Para os dados de turbidez registrados pelo turbidímetro SeaPoint, a conversão dos dados de REO para MPS foi realizada conforme descrito por Pereira *et al.* (2010) e por Schettini & Miranda (2010). Em laboratório, foi reservado um volume de água limpa, ao qual foi progressivamente adicionada uma solução concentrada de MPS. Após cada acréscimo, foram registrados pares de valores de REO e MPS. A concentração de MPS em cada solução foi obtida através da filtragem das amostras e posterior secagem em estufa. Após a secagem, as amostras foram pesadas. O peso do filtro foi subtraído da massa registrada, obtendo-se assim a massa de MPS. A concentração resultou da razão entre a massa registrada e o volume filtrado. A partir desses pares de valores para diferentes concentrações de MPS, foi elaborada uma equação de conversão de REO em MPS, representada por:

$$MPS = 127,6 \times REO + 3,8$$

Para os registros de turbidez obtidos pelo CTD JFE, a conversão de dados para a obtenção de MPS também se deu através de pares de registros. A equação de correlação estabelecida pode ser descrita por:

$$MPS = 1,028 \times CTD - 1,05$$

4 RESULTADOS

4.1 Evolução Temporal em Estação Fixa

A Tabela 2 apresenta um sumário dos resultados obtidos nas quatro campanhas, no que se refere aos valores máximos, mínimos e médios de velocidade de correntes, salinidade, temperatura e concentração de MPS. De modo geral, as correntes de enchente e de vazante foram mais intensas em condições de sizígia, havendo também diferenças consideráveis entre as campanhas de anos diferentes. Em 2008, houve um aumento da salinidade, da temperatura e da concentração de MPS em relação a 2007. Para campanhas do mesmo ano, as concentrações de MPS foram maiores durante a quadratura. A distribuição vertical de concentração de MPS revelou, nas quatro campanhas, valores menores na superfície, com crescimento gradual em direção ao fundo.

Tabela 2 - Resumo dos resultados obtidos na estação fixa para as quatro campanhas.

	2007		2008	
	Quadratura	Sizígia	Quadratura	Sizígia
V_{máx} (m/s)	0,44	0,50	0,52	0,84
V_{mín} (m/s)	-0,39	-0,80	-0,65	-0,74
V_{média} (m/s)	-0,05	0,04	-0,05	-0,13
S_{máx}	31,95	32,88	36,39	35,88
S_{mín}	0,88	4,54	1,42	6,90
S_{média}	10,10	22,52	20,66	28,12
T_{máx} (°C)	25	26,41	28,54	28,45
T_{mín} (°C)	23,45	24,74	26,75	26,18
T_{média} (°C)	24,01	25,51	27,71	27,27
MPS_{máx} (mg.l⁻¹)	54,84	32,51	78,88	51,94
MPS_{mín} (mg.l⁻¹)	6,35	10,18	7,12	8,27
MPS_{médio} (mg.l⁻¹)	13,69	17,01	31,51	23,58

V_{máx}: velocidade máxima (m.s⁻¹); V_{mín}: Velocidade mínima (m.s⁻¹); V_{méd}: Velocidade (m.s⁻¹); S_{máx}: Salinidade máxima; S_{mín}: Salinidade mínima; S_{méd}: Salinidade média; T_{máx}: Temperatura máxima (°C); T_{mín}: Temperatura mínima (°C); T_{méd}: Temperatura média (°C); MPS_{máx}: MPS máximo (mg.l⁻¹); MPS_{mín}: MPS mínimo (mg.l⁻¹); MPS_{méd}: MPS médio (mg.l⁻¹).

Quadratura 2007

A campanha teve início às 9 h e término às 22 h, com altura de maré de 0,8 m. A baixamar ocorreu às 13 h, e a preamar às 19 h.

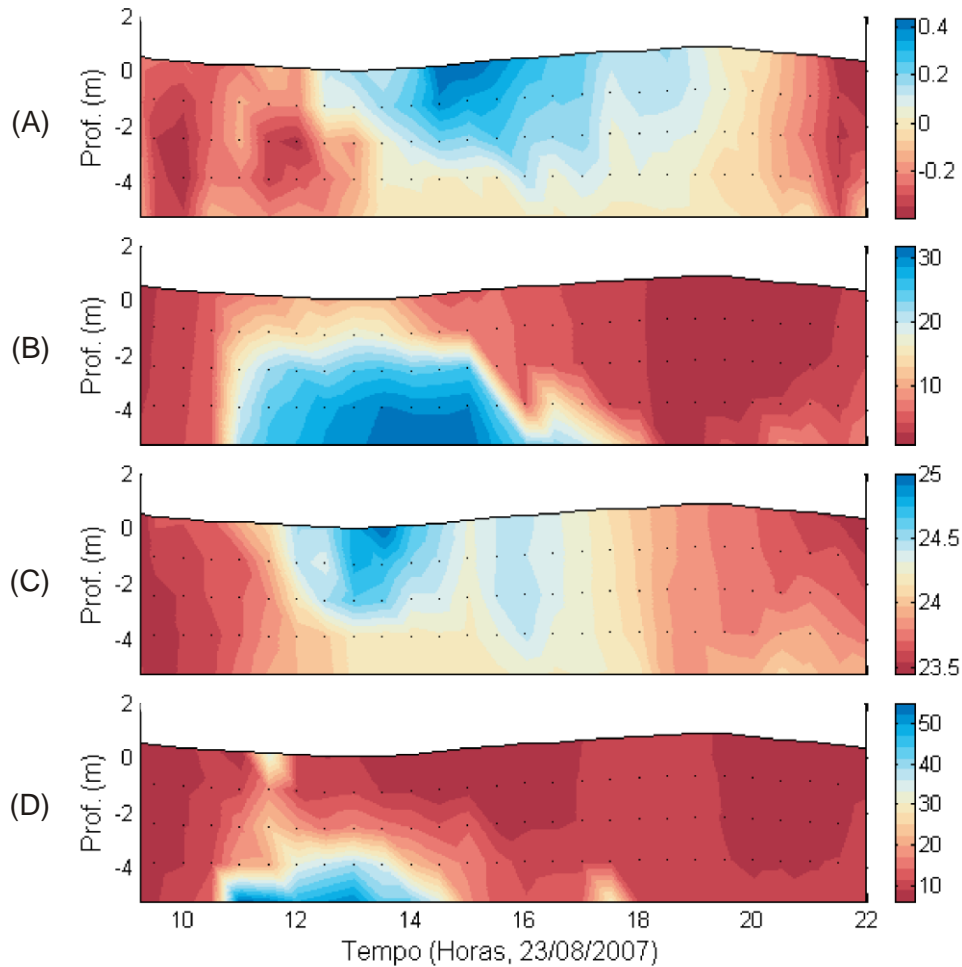
As máximas velocidades de correntes de vazante foram registradas entre 9:30 h e 10 h, na metade inferior da coluna d'água, Entre 12:30 h e 13:20 horas, o comportamento bidirecional das correntes tornou-se mais evidente, com correntes de enchente na porção superior da coluna d'água, e correntes de vazante no fundo. Entre 13:30 h e 19:15 h, ocorreram apenas correntes de enchente, havendo estratificação no comportamento vertical da distribuição de velocidade. Na superfície, as velocidades atingiram maiores magnitudes, enquanto no fundo esses valores foram quase nulos. Entre 14:30 h e 15:30 h, os maiores valores de corrente de enchente se evidenciaram, bem como a maior estratificação. Neste período, houve uma diferença de até $0,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ entre as magnitudes de correntes medidas ao longo da coluna d'água. O campo de velocidade se mostrou verticalmente heterogêneo em toda a campanha até as 19:20 h. A partir daí, houve homogeneidade vertical de correntes de vazante. (Figura 7A).

A salinidade variou entre um mínimo de 0,9 e um máximo de 31,9. No início da campanha, a salinidade foi próxima a zero e com distribuição vertical homogênea. Entre 11 h e 17 h, o estuário apresentou estratificação de salinidade, sempre com valores superiores na camada mais profunda da coluna d'água. De 13 h às 15 h, próximo à baixamar, a salinidade atingiu seu valor máximo no fundo e máxima estratificação, com variação de até 26 unidades na coluna d'água. Na preamar, houve homogeneidade vertical da salinidade, com valores entre uma e três unidades. A partir daí, houve estratificação não acentuada até o fim da campanha, com variação máxima de sete unidades (Figura 7B).

A temperatura apresentou distribuição vertical homogênea ao longo de quase toda a campanha, exibindo estratificação mais acentuada apenas entre 12 h e 15 h e entre 19:40 h e 22 h. De modo geral, durante a vazante os valores de temperatura foram mínimos na superfície e máximos no fundo. Já no período de enchente, a temperatura foi maior na superfície. Os maiores valores de temperatura ocorreram na superfície entre 13:20 h e 13:40 h. A elevação de temperatura é devida a maior incidência dos raios solares nesse horário, provocando aquecimento da água. Analogamente, os menores valores de temperatura ocorreram por volta das 9 h e das 21 h, períodos em que o aquecimento promovido pelo sol ainda é baixo ou já tem cessado, respectivamente (Figura 7C).

Quanto ao MPS, houve variação de $48,5 \text{ mg.l}^{-1}$ ao longo do ciclo. A maior estratificação vertical de MPS e os maiores valores desse parâmetro ocorreram próximos à baixamar (Figura 7D), momento em que também houve forte estratificação de salinidade.

Figura 7 - Evolução temporal da estrutura vertical de velocidade (A), salinidade (B), temperatura (C) e MPS (D) durante a campanha de quadratura de 2007.



Fonte: o autor.

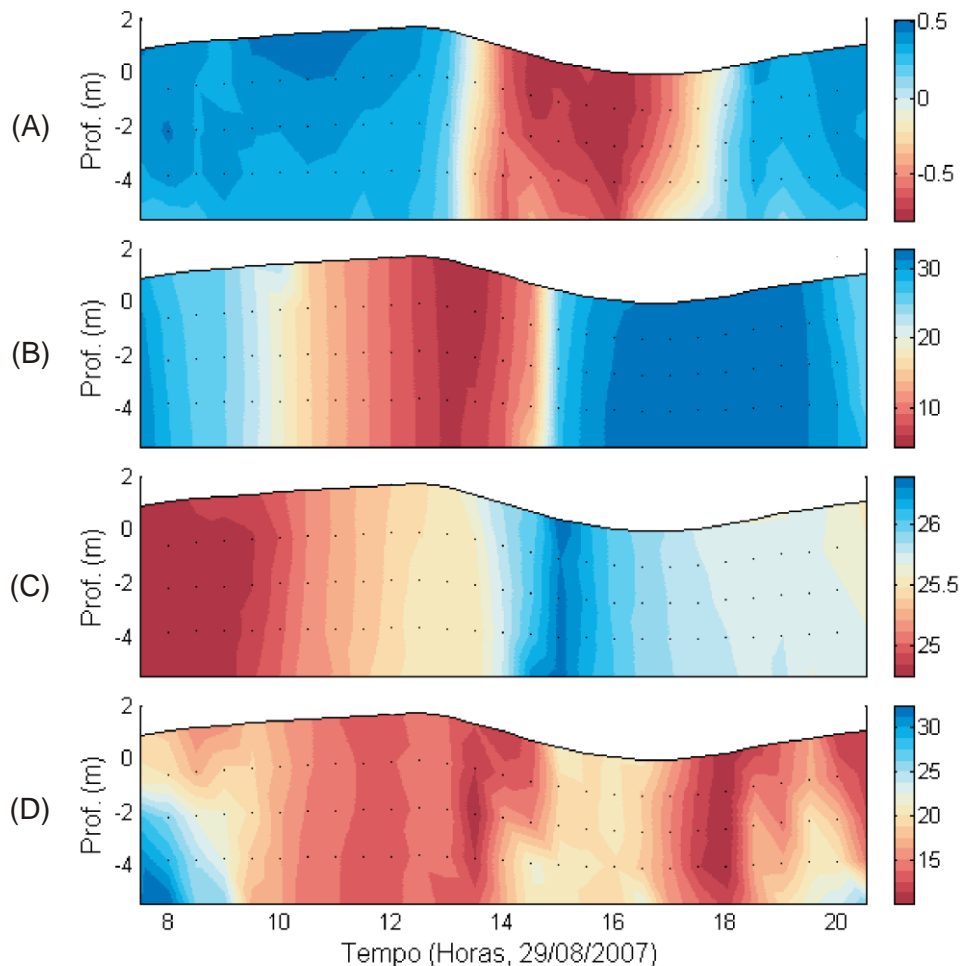
Sizígia 2007

A campanha teve início às 7:30 h e término às 20:30 h, com ocorrência de preamar às 12:30 h e de baixamar às 16:45 h. A altura de maré no ciclo foi de 1,7 m.

Do início da campanha até a preamar, a velocidade das correntes apresentou estratificação com variação de até $0,2 \text{ m.s}^{-1}$ na coluna d'água, estando os maiores valores, em geral, na superfície. Os maiores valores de velocidade de

enchente ocorreram entre 9:30 h e 11:30 h na superfície. De 12:40 h às 16:30 h, as velocidades de corrente se apresentaram homogêneas em toda a coluna d'água. Durante esta campanha, as estofas de preamar e baixamar (períodos nos quais a velocidade das correntes é nula em toda a coluna d'água) foram bem definidas e ocorreram por volta das 13:20 h e das 17:40 h, respectivamente, com um atraso de fase de aproximadamente uma hora em relação ao nível da maré. Aproximadamente 3 horas após a estofa de preamar, foi observada a maior velocidade de corrente de vazante, com magnitude de $-0,8 \text{ m.s}^{-1}$ (Figura 8 A).

Figura 8 - Evolução temporal da estrutura vertical de velocidade (A), salinidade (B), temperatura (C) e MPS (D) durante a campanha de sizígia de 2007.



Fonte: o autor.

O campo de salinidade foi verticalmente homogêneo durante toda a campanha de sizígia, com variação de 28 unidades, aproximadamente, ao longo do ciclo. Os menores valores de salinidade ocorreram durante a estofa de preamar, e os maiores valores, na estofa de baixamar (Figura 8B).

A variação de temperatura nesta campanha foi de 1,7 °C, sendo que os menores valores ocorreram no início da campanha, e os maiores por volta das 15 h. A temperatura, assim como a salinidade, apresentou distribuição verticalmente homogênea ao longo de toda a campanha (Figura 8C).

A diferença entre o menor e o maior valor de MPS registrados foi de 22,3 mg.l⁻¹ (Figura 8D). As maiores concentrações de MPS foram registradas no início e no fim da campanha, períodos de intensas correntes de enchente.

Quadratura 2008

A campanha de quadratura de 2008 foi realizada entre 7:20 h e 20:25 h. A preamar ocorreu às 12:30 h, e a baixamar, às 19 h, tendo sido observada uma altura de maré de 1,1 m.

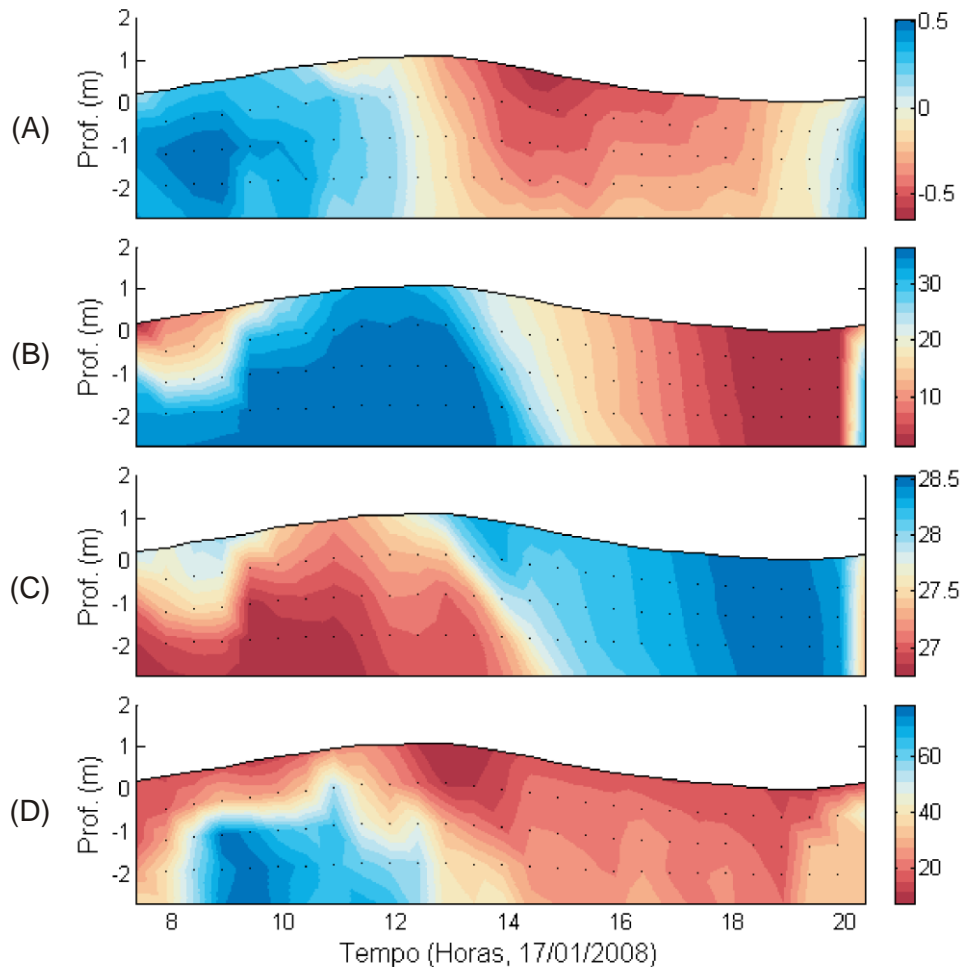
Houve estratificação de velocidade na coluna d'água em toda a campanha, sendo a variação mais atenuada em horários próximos à preamar e à baixamar. A maior velocidade de enchente ocorreu entre 8 e 9 h, à meia-água, enquanto a maior velocidade de vazante ocorreu na superfície, por volta das 14:30 h. Neste horário ocorreu também a maior estratificação, com variação de 0,4 m.s⁻¹ (Figura 9A).

A distribuição de salinidade apresentou estratificação durante a enchente e homogeneidade no período de vazante. A variação de salinidade ao longo do ciclo foi de 35 unidades, com os maiores valores na porção inferior da coluna d'água durante a enchente, e os maiores valores ao longo de toda a coluna no período próximo à baixamar (Figura 9B).

A temperatura seguiu o mesmo padrão de distribuição da salinidade: coluna d'água estratificada durante a enchente e homogênea na vazante. A variação total de temperatura foi de 1,8 °C. Os maiores valores de temperatura foram observados por volta das 10 h, e os menores, aproximadamente às 18:30 h (Figura 9C).

Os maiores valores de MPS ocorreram associados às maiores velocidades de enchente (Figura 9D), coincidindo também com o período de maior estratificação de salinidade e temperatura.

Figura 9 - Evolução temporal da estrutura vertical de velocidade (A), salinidade (B), temperatura (C) e MPS (D) durante a campanha de quadratura de 2008.



Fonte: o autor.

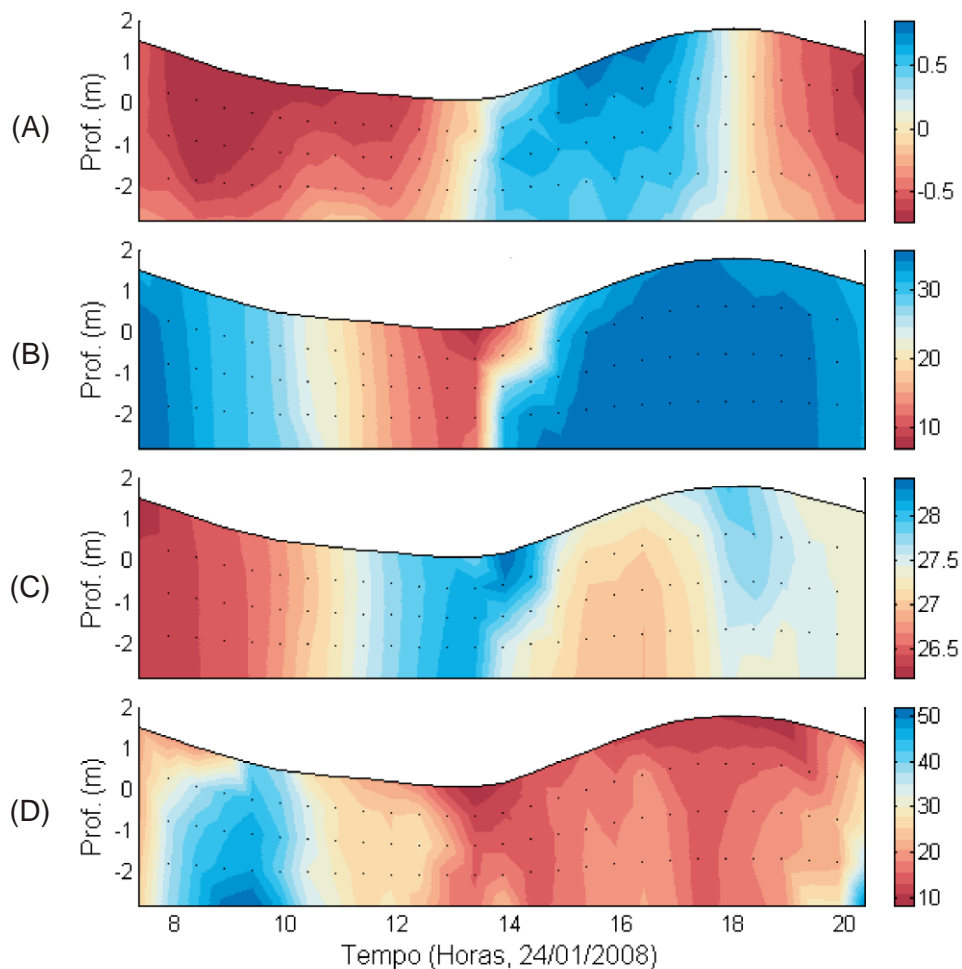
Sizígia de 2008

Durante a campanha de sizígia de 2008, a altura de maré registrada foi de 1,7 m, tendo a baixamar ocorrido às 13 h, e a preamar às 18 h. A campanha teve início às 7:20 h e término às 20:20 h.

As velocidades das correntes exibiram predomínio da estratificação durante todo o ciclo, observando-se homogeneidade apenas nos períodos próximos à preamar e à baixamar. As estofas de preamar e de baixamar se apresentaram bem definidas e em fase com o nível da maré. Nessa campanha, as maiores velocidades de corrente ocorreram sempre na superfície, com diminuição gradativa de magnitude em direção ao fundo. A maior velocidade de vazante ocorreu por volta das 9 h, e a de enchente, aproximadamente às 15:30 h (Figura 10A).

O estuário apresentou distribuição de velocidade verticalmente homogênea durante quase todo o ciclo, com ocorrência de estratificação apenas entre 13:30 h e 14:30 h. A variação de salinidade no estuário foi de 29 unidades durante o ciclo, havendo redução progressiva de salinidade ao longo da vazante e aumento no decorrer da enchente. O menor valor de salinidade ocorreu na estufa de baixamar, e o maior, na preamar (Figura 10B).

Figura 10 - Evolução temporal da estrutura vertical de velocidade (A), salinidade (B), temperatura (C) e MPS (D) durante a campanha de sizígia de 2008.



Fonte: o autor.

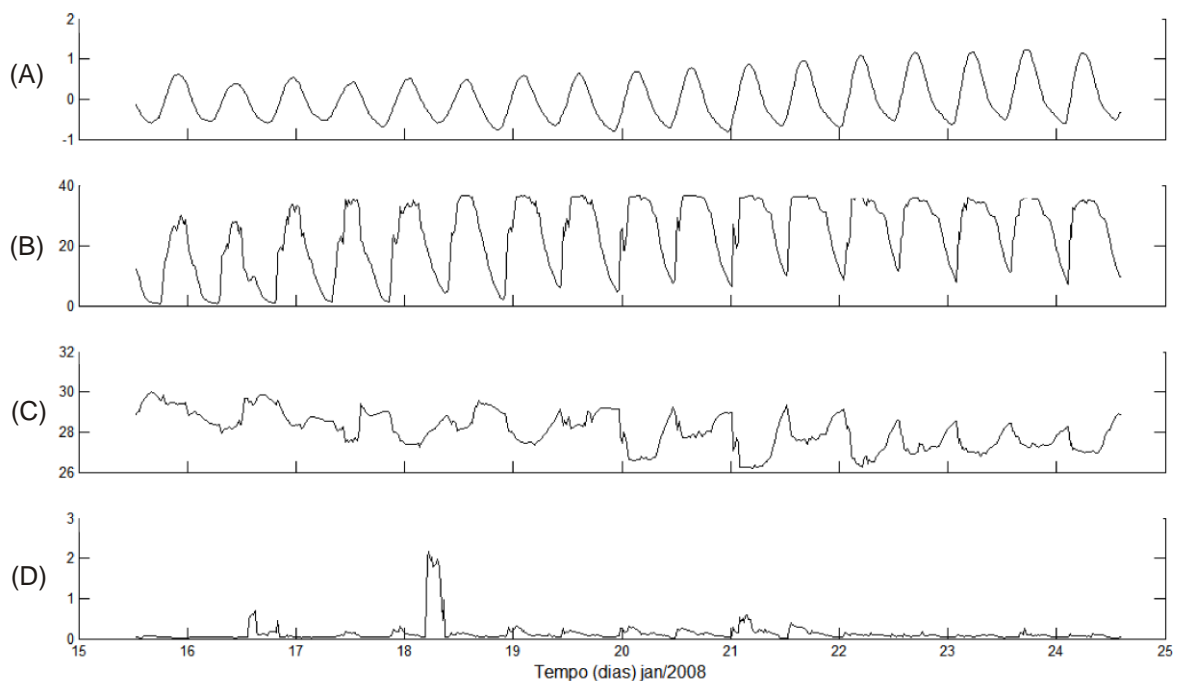
A temperatura variou aproximadamente 2,3 °C durante o ciclo. O menor valor ocorreu às 7:30 h, próximo ao início da campanha, e o maior, às 14 horas. Assim como na distribuição de salinidade, houve predomínio da homogeneidade vertical de temperatura. A condição de estratificação foi observada no mesmo

período em que ocorreu com a salinidade. Neste período, a temperatura foi máxima na superfície, com decréscimo em direção ao fundo (Figura 10C).

Os maiores valores de MPS ocorreram associados às correntes de vazante mais intensas (Figura 10D). Os menores valores foram registrados nos períodos de estufa de preamar e de baixamar.

O CTD fundeado na estação fixa de 15 a 24 de janeiro de 2008 mostrou um padrão no comportamento dos parâmetros registrados (Figura 11). Sua análise permite validar a regularidade do comportamento registrado no ano de 2008 para a estação fixa.

Figura 11 - Evolução temporal dos parâmetros registrados pelo CTD fundeado. A: Profundidade (m); B: Salinidade; C: Temperatura (°C); D: Turbidez (ftu).



Fonte: o autor.

4.2 Perfis Verticais Médios

A análise de dados da estação fixa incluiu a elaboração de perfis verticais médios de salinidade e de velocidade de correntes, a partir dos dados da estação fixa, para cada um dos ciclos estudados. Com esse objetivo, foram calculadas as

médias dos valores de salinidade e de velocidade das correntes registradas em cada profundidade do perfil vertical. A partir daí, foi possível analisar o comportamento da salinidade e das correntes longitudinais na coluna d'água para cada campanha (Tabela 4).

Tabela 3 - Valores máximos, mínimos e médios nos perfis verticais médios de velocidade longitudinal e de salinidade para as quatro campanhas.

	2007		2008	
	Quadratura	Sizígia	Quadratura	Sizígia
V_{máx} (m/s)	0,02	0,06	0,03	-0,05
V_{mín} (m/s)	-0,10	0,03	-0,18	-0,18
V_{média} (m/s)	-0,05	0,04	-0,05	-0,13
S_{máx}	16,21	22,98	24,44	29,27
S_{mín}	4,92	22,06	15,19	26,29
S_{média}	10,10	22,52	20,66	28,12

Nas quatro campanhas, o padrão de distribuição vertical de salinidade foi o mesmo: os maiores valores foram registrados no fundo, com decréscimo gradual em direção à superfície (Figuras 12A, 13A, 14A, 15A).

A variação de salinidade, bem como a salinidade máxima, média e mínima, foram diferentes para cada ciclo de maré. Tanto em 2007 quanto em 2008, a salinidade média foi maior na sizígia que na quadratura, uma vez que na sizígia ocorre maior entrada de água salgada no estuário.

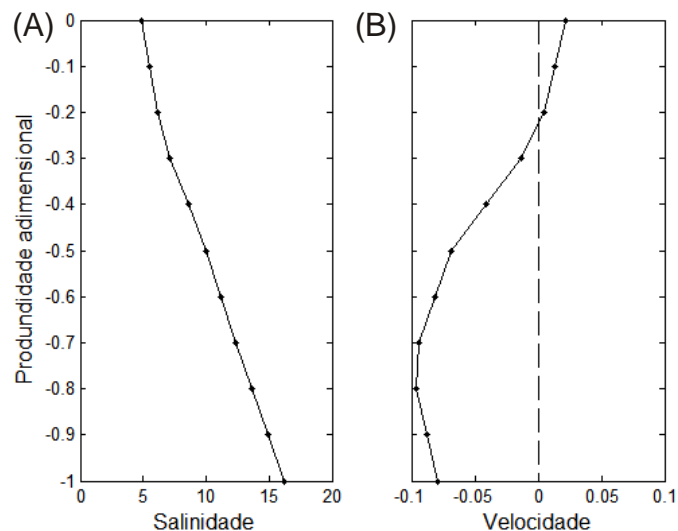
A variação de salinidade foi maior durante as campanhas de quadratura, indicando que nessa condição há maior estratificação da coluna d'água durante o ciclo. A entrada da onda de maré no estuário é responsável por turbulência e mistura, o que explica a maior homogeneidade na sizígia. Os valores de salinidade foram maiores no ano de 2008, provavelmente devido à abertura do pontal arenoso, que deslocou a região de entrada de água salgada no estuário, aproximando-a do ponto de coleta de dados.

No que se refere aos perfis verticais médios de velocidade de corrente, foi observada uma inversão de comportamento entre os anos de 2007 e 2008, que pode ser explicada pela inversão na assimetria de maré nesse período. Na sizígia de 2007, o perfil vertical médio de velocidade apresentou apenas correntes de

enchente, uma vez que essa fase da maré perdurou por mais tempo durante o ciclo. Em 2008, ocorreu o oposto.

Na quadratura de 2007, ficou evidente o comportamento bidirecional das correntes na coluna d'água, com correntes de enchente (valores positivos) no quinto superior da coluna e correntes de vazante (valores negativos) no restante do perfil vertical. A velocidade máxima de enchente foi observada na superfície. A velocidade média do perfil vertical foi negativa, indicando predomínio das correntes de vazante na coluna d'água (Figura 12B). A inversão da média das correntes de enchente para vazante é acompanhada de um aumento na variação de salinidade.

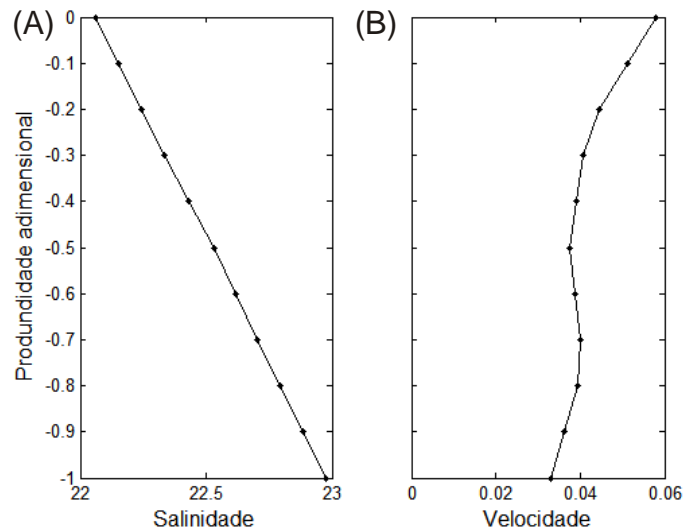
Figura 12 - Perfis verticais médios de salinidade (A) e de velocidade (B) durante a campanha de quadratura de 2007.



Fonte: o autor.

Durante a sizígia de 2007, o perfil vertical de velocidade indicou que a direção média das correntes foi à montante em toda a coluna d'água, não tendo sido identificado, comportamento bidirecional. O maior valor de velocidade de enchente foi medido na superfície, e o menor valor, no fundo (Figura 13B).

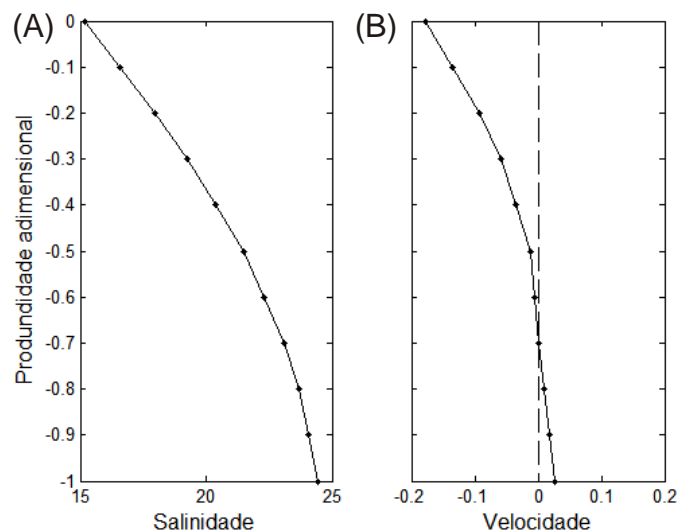
Figura 13 - Perfis verticais médios de salinidade (A) e de velocidade (B) durante a campanha de sizígia de 2007.



Fonte: o autor.

Assim como em 2007, a quadratura de 2008 também revelou comportamento bidirecional das correntes na coluna d'água. Em 2008, porém, houve inversão das direções em relação a 2007, com correntes de enchente no terço inferior da coluna d'água, e correntes de vazante na parte superior da coluna. A velocidade máxima de corrente de vazante ocorreu na superfície, e o maior valor de velocidade de enchente foi medido no fundo. O predomínio de correntes de vazante na coluna d'água resultou em uma média de velocidade com valor negativo (Figura 14B).

Figura 14 - Perfis verticais médios de salinidade (A) e de velocidade (B) durante a campanha de quadratura de 2008.

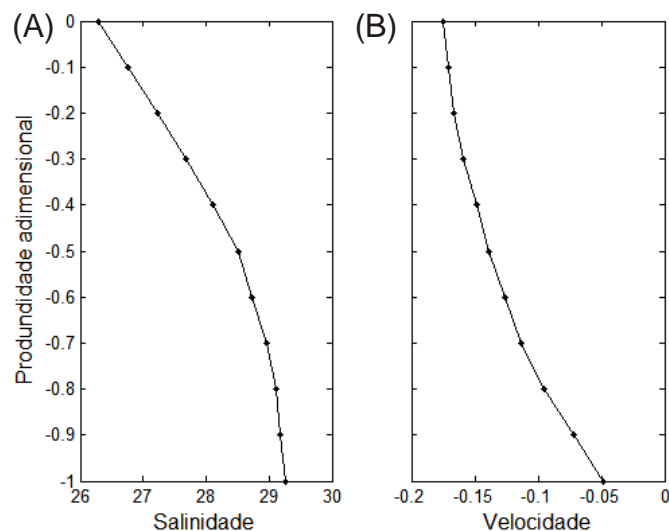


Fonte: o autor.

Na campanha de sizígia de 2008, o perfil vertical médio de velocidade revelou um comportamento unidirecional das correntes. Em oposição ao observado na sizígia de 2007, em 2008 a média das direções de correntes apontou para jusante, ou seja, as correntes de vazante dominaram todo o perfil vertical. Os maiores valores de velocidade ocorreram na superfície, havendo decréscimo da magnitude com o aumento da profundidade (Figura 15B).

Em todas as campanhas, velocidades de vazante mais intensas estão associadas a uma maior variação vertical de salinidade.

Figura 15 - Perfis verticais médios de salinidade (A) e de velocidade (B) durante a campanha de sizígia de 2008.



Fonte: o autor

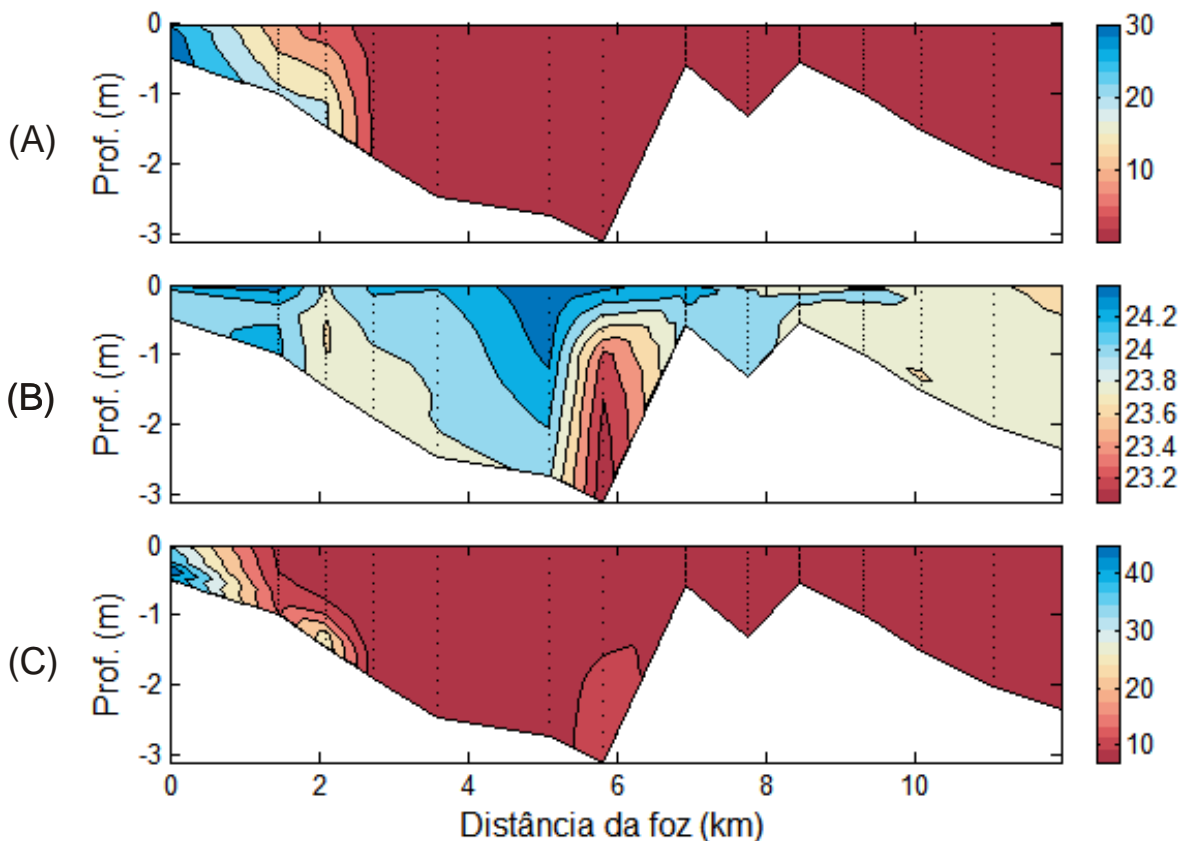
4.3 Perfis Longitudinais

O estuário apresentou diminuição da salinidade ao longo de seu curso nas quatro campanhas realizadas. De modo geral, o estuário exibiu maior homogeneidade vertical na distribuição de salinidade durante a sizígia. O mesmo padrão foi relatado para outros estuários (e.g. UNCLES & STEPHENS, 1996). A intrusão salina foi mensurada seguindo a mesma metodologia apresentada por Schettini & Truccolo (1999), ou seja, a avaliação foi realizada em função da posição das isohalinas de 2 e 30.

Quadratura de 2007

O perfil longitudinal realizado na quadratura de 2007 teve início às 11:40 h e término às 12:45 h, percorrendo-se 12 km a partir da foz em direção ao interior do estuário. Nesse perfil, foi registrada uma variação de 32,6 unidades na salinidade (de 32,7 no início para 0,07 no fim). A variação média foi de $2,7 \text{ psu.km}^{-1}$. A isohalina de 30 se posicionou a 500 metros da foz, enquanto a de 2 ficou a aproximadamente 3,7 km da desembocadura. No período de maior variação, observa-se maior salinidade na porção inferior da coluna d'água (Figura 16A)

Figura 16 - Perfil longitudinal de salinidade (A), temperatura (B) e MPS (C) para a campanha de quadratura de 2007.



Fonte: o autor

A temperatura apresentou variação de $1,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ao longo do perfil. As menores temperaturas observadas estão a aproximadamente 6 km da foz, no perfil de CTD realizado no interior da gamboa. (Figura 16B)

Os maiores valores de MPS foram obtidos no primeiro perfil vertical, realizado na foz. Nesse ponto, a média de MPS na coluna d'água foi de $42,2 \text{ mg.l}^{-1}$,

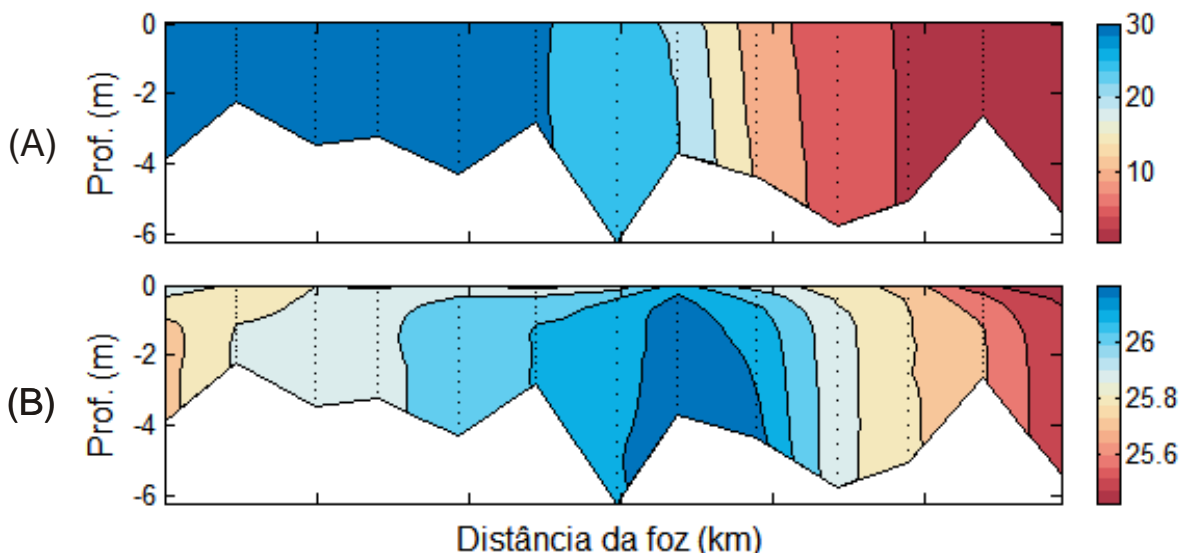
enquanto a média dos demais perfis foi de $8,5 \text{ mg.l}^{-1}$. No interior da gamboa houve um ligeiro aumento de MPS (Figura 16C). A região mais próxima a foz se apresentou, portanto, como uma zona de turbidez máxima.

Sizígia de 2007

Na sizígia de 2007, a intrusão salina foi maior que na quadratura, e a variação média de salinidade foi de $33,4$ unidades ou $2,8 \text{ psu.km}^{-1}$. (Figura 17A). As isohalinas de 30 e de 2 se posicionaram a aproximadamente 5 km e 10,5 km, respectivamente

As maiores temperaturas ocorreram a 7 km da foz, com redução gradual de temperatura tanto à montante quanto à jusante desse ponto. As menores temperaturas foram observadas no fim do perfil longitudinal, a 11,8 km do início do perfil. A variação de temperatura durante o perfil foi de $0,9 \text{ }^\circ\text{C}$. Durante todo o perfil, as temperaturas foram menores na superfície que no fundo. A partir de aproximadamente 70 cm de profundidade até o fundo da coluna d'água, a temperatura apresentou distribuição verticalmente homogênea (Figura 17B)

Figura 17 - Perfil longitudinal de salinidade (A) e temperatura (B) para a campanha de sizígia de 2007.



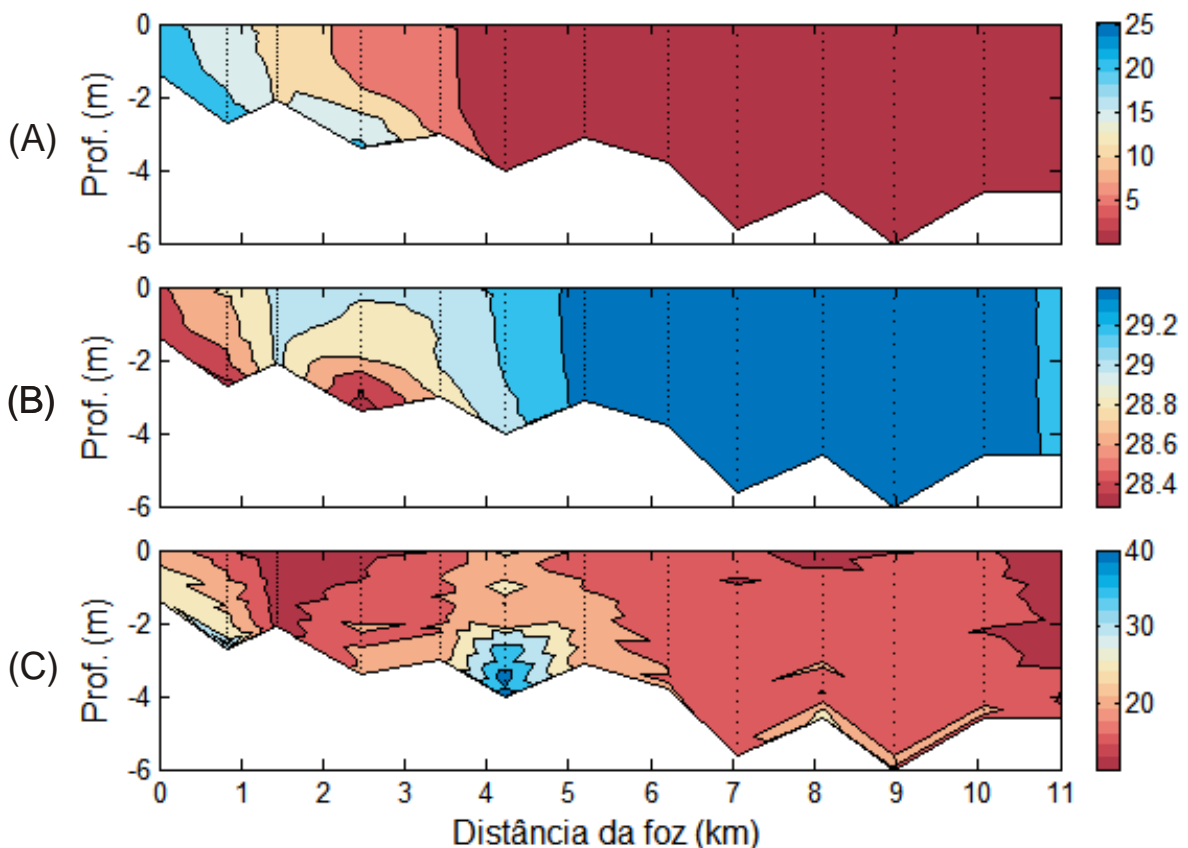
Fonte: o autor

Quadratura de 2008

O perfil longitudinal teve início às 14:35 h e término às 15:25 h. Nesta campanha, houve variação de 24,9 unidades de salinidade, o que corresponde a uma variação média de $2,1 \text{ psu.km}^{-1}$. Não foi observada isohalina de 30 no interior do estuário, uma vez que a média de salinidade no perfil mais próximo à desembocadura foi de 22,3 unidades. A isolinha de salinidade 2 ficou a 5,5 km da foz (Figura 18A).

A variação de temperatura foi de $1,2 \text{ }^\circ\text{C}$ durante o perfil longitudinal. As menores temperaturas foram registradas no primeiro perfil de CTD, em toda a coluna d'água, e a uma distância de 2,5 km da foz apenas na porção inferior da coluna d'água. A temperatura atingiu profundidades máximas entre 5 km e 10,5 km de distância da desembocadura. A partir daí, houve decréscimo da temperatura (Figura 18B)

Figura 18 - Perfil longitudinal de salinidade (A), temperatura (B) e MPS (C) para a campanha de quadratura de 2008.



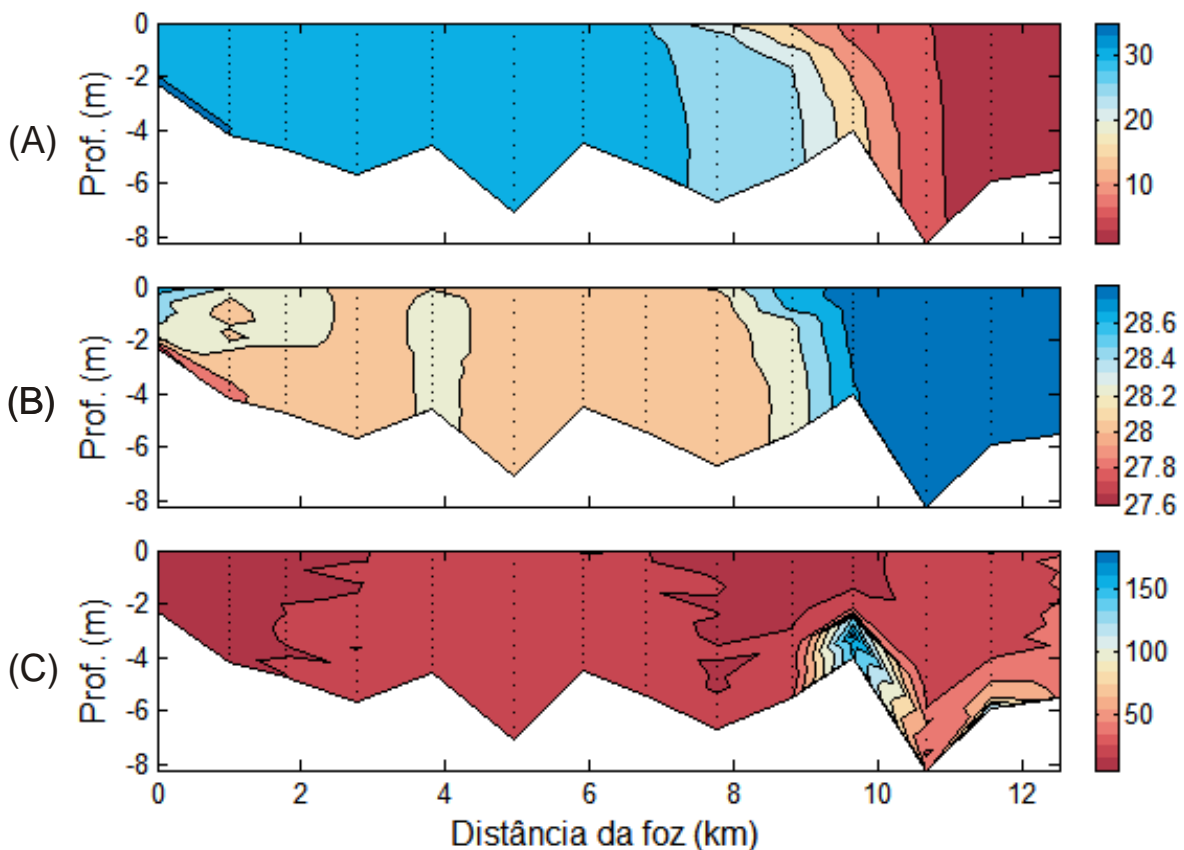
Fonte: o autor

A partir da foz em direção à montante, houve diminuição de MPS, com exceção de uma região na qual os valores de MPS foram máximos. Os maiores valores de MPS ocorreram no perfil amostral realizado na saída da gamboa (média de $30,8 \text{ mg.l}^{-1}$), indicando uma zona de turbidez máxima nesse ponto. A média dos pontos do perfil longitudinal foi de $18,5 \text{ mg.l}^{-1}$. De maneira geral, foram registrados maiores valores de MPS nos pontos de maior profundidade em cada perfil de amostragem (Figura 18C)

Sizígia de 2008

O perfil longitudinal desta campanha se iniciou às 17:35 h e terminou às 18:20 h. A variação absoluta de salinidade foi de 39,2 unidades em 12,5 km, o que resulta em $3,1 \text{ psu.km}^{-1}$. A isohalina de 30 ficou localizada a 7 km da desembocadura. A isohalina de 2 ficou registrada a aproximadamente 11,7 km de distância do início do perfil longitudinal. De maneira geral, a salinidade na superfície foi menor que no fundo (Figura 19A).

Figura 19 - Perfil longitudinal de salinidade (A), temperatura (B) e MPS (C) para a campanha de sizígia de 2008.



Fonte: o autor.

Quanto à temperatura, houve uma variação de 1,3 °C, com os menores valores em maiores profundidades e próximo à foz, e os maiores valores, nos perfis verticais mais distantes (Figura 19B).

A concentração de MPS se apresentou mais elevada em um ponto a 9,5 km da foz, diminuindo com o aumento da distância em relação a esse ponto. Neste local é evidenciada outra zona de turbidez máxima (Figura 19C). A média de MPS nesse perfil vertical foi de 79,5 mg.l⁻¹. Nos demais perfis verticais ao longo do estuário, essa média foi de 25,8 mg.l⁻¹.

5 DISCUSSÃO

5.1 Assimetria de Maré no Estuário

Durante o período de estudo, houve uma variação quanto à caracterização geral da onda de maré em cada campanha (Tabela 3). Nos períodos de quadratura, a duração da enchente e da vazante foi similar, enquanto durante a sizígia houve dominância significativa de uma das fases.

Na campanha de sizígia de 2007, o sistema estuarino se apresentou dominado por vazante, e essa fase da maré durou aproximadamente 33% do tempo do ciclo. Na sizígia de 2008, o estuário se caracterizou como dominado por enchente, que representou cerca de 37% do ciclo.

Tabela 4 – Resumo dos dados de estação fixa em termos de diferença entre as fases de maré.

	2007		2008	
	Quadratura	Sizígia	Quadratura	Sizígia
Duração camp (h)	12,76	13	13,01	13,01
δz (cm)	-26	+16	-6	-41
Altura de maré (m)	0,85	1,76	1,08	1,69
Tempo E/V (%)	47.5/52.5	66.7/33.3	49.5/50.5	37.4/62.6
$V_{\text{méd}} \text{ Enc (m.s}^{-1}\text{)}$	0,13	0,33	0,27	0,46
$V_{\text{méd}} \text{ Vaz (m.s}^{-1}\text{)}$	-0,19	-0,53	-0,30	-0,47

Duração da campanha (h), diferença entre o nível final e inicial da água (δz em cm), altura da maré durante o ciclo (m), relação entre a duração de enchente e vazante (%), velocidade média das correntes de enchente (m.s^{-1}) e velocidade média das correntes de vazante (m.s^{-1}) para as quatro campanhas.

No que se refere à velocidade das correntes de enchente e vazante em cada campanha, observou-se que na sizígia de 2007 houve a maior variação de magnitude entre as fases, sendo a média da velocidade de vazante cerca de 60% maior que a média da velocidade de enchente.

Aubrey & Speer (1985) determinaram que as interações não-lineares durante a propagação da onda de maré pode resultar em desaparecimento virtual de assimetria durante a quadratura, apesar de essa assimetria ser observada durante a sizígia. Esse fator pode ser a explicação para a aparente ausência de assimetria durante as campanhas de quadratura no estuário do rio Itanhém.

Alguns estudos relacionaram mudanças na hidrodinâmica às alterações morfológicas no estuário (e.g. WOLANSKI *et al.*, 1992; FURUKAWA & WOLANSKI, 1996; MOORE *et al.*, 2009; BROWN & DAVIS, 2009). Nos estuários, os sedimentos seguem em direção à foz durante a vazante, e são transportados para montante em condições de enchente. Esses processos não são lineares, pois dependem da interação entre diversos fatores, como morfologia do canal e interação com o fundo. Variações na geometria e batimetria do estuário são complexas e podem originar assimetria entre enchente e vazante, podendo haver uma inversão de assimetria (de enchente para vazante, ou vice-versa) de acordo com as interações entre a maré e a morfologia da bacia (WANG *et al.*, 2002).

Jiang *et al.* (2013) aplicaram modelagem numérica a um estuário raso de micromaré, a fim de avaliar variações morfológicas e hidrodinâmicas. O resultado mostrou que a batimetria e a geologia do estuário podem originar variações significativas nas correntes e na assimetria de maré. Neste trabalho, o transporte de sedimentos obedeceu a determinados padrões de assimetria, reforçando o papel das correntes de maré como controladoras da direção do transporte de sedimentos no estuário.

Segundo Friedrichs & Aubrey (1988) a assimetria de maré resulta da combinação de dois processos (dissipação de atrito e armazenamento entre-marés). Assim sendo, um estuário pode alterar sua condição de erosão ou deposição de sedimentos, causando variação na profundidade média do canal, podendo resultar em reversão da assimetria de maré e do balanço sedimentar (WANG *et al.*, 2002, JIANG *et al.*, 2013).

Lessa & Masselink (1995) estudaram um estuário australiano de macromaré, relacionando sua morfologia à sua hidrodinâmica e avaliando a mudança no padrão de assimetria de maré no local. O resultado indicou dominância de vazante em grande parte do estuário, sugerindo que a mudança no padrão de assimetria ocorreu durante a evolução do estuário, provavelmente devido à variação da capacidade de armazenamento de água entre-marés.

No caso do estuário do rio Itanhém, a dissipação de atrito não apresentou variação significativa entre os anos de 2007 e 2008. Esse parâmetro pode ser

mensurado através do número de Froude barotrópico (F_T), que representa a não-linearidade barotrópica do sistema (MIRANDA *et al.*, 2002)

F_T foi um dos parâmetros utilizados por Jay & Smith (1988) no desenvolvimento de um sistema de classificação de estuários que leva em consideração o efeito da variabilidade da maré em relação à profundidade do estuário. F_T pode ser expresso pela razão entre a amplitude de maré (ζ_M) e a profundidade média do estuário (h), ou seja:

$$F_T = \frac{\zeta_M}{h}$$

F_T se aproxima da unidade em estuários de macro e hipermaré. Já em estuários profundos e com pequena amplitude de maré, F_T é relativamente pequeno (MIRANDA *et al.*, 2002)

Para o cálculo do número de Froude barotrópico, foi utilizada a mesma profundidade média do estuário para as quatro campanhas, havendo variação apenas da amplitude de maré em cada ciclo estudado. A estimativa da profundidade média do estuário foi calculada a partir dos dados dos quatro perfis longitudinais realizados: a profundidade média correspondeu à médias das profundidades de todos os perfis verticais realizados nos levantamentos longitudinais. A profundidade média aplicada no cálculo de F_T corresponde à metade da média das máximas profundidades de cada perfil vertical ao longo do estuário nas quatro campanhas.

Durante os ciclos de quadratura de 2007 e de 2008, F_T apresentou valores de 0,2 e 0,3, respectivamente. Nas campanhas de sizígia, o valor de F_T foi aproximadamente 0,5 tanto em 2007 quanto em 2008. Em condições de sizígia, a não-linearidade barotrópica é o dobro daquela observada em marés de quadratura, sendo este mais um indicativo da aparente ausência de assimetria durante a quadratura.

Como não houve variação significativa da dissipação de maré quando comparados os meses de agosto de 2007 e janeiro de 2008, é possível que a causa da mudança da assimetria (estuário dominado por vazante em 2007 e dominado por enchente em 2008) tenha sido uma variação na capacidade de armazenamento de

água entre-marés, impulsionada pela mudança da morfologia da desembocadura entre esses dois períodos.

5.2 Estabilidade da Coluna d'Água

A estabilidade da coluna d'água também sofre variação entre as campanhas de 2007 e 2008, e pode ser mensurada através do número de Richardson (Ri). Esse parâmetro estabelece uma razão entre o ganho de energia potencial devido à descarga do rio e a energia cinética da maré (FISCHER, 1972). Em outras palavras, Ri relaciona os fatores estabilizadores às forças desestabilizadoras, representados pela estratificação de densidade e pelo cisalhamento vertical de velocidade longitudinal, respectivamente (DYER, 1997). Este número é definido por:

$$Ri = -\frac{g \frac{\partial \rho}{\partial Z}}{\left(\frac{\partial U}{\partial Z}\right)^2}$$

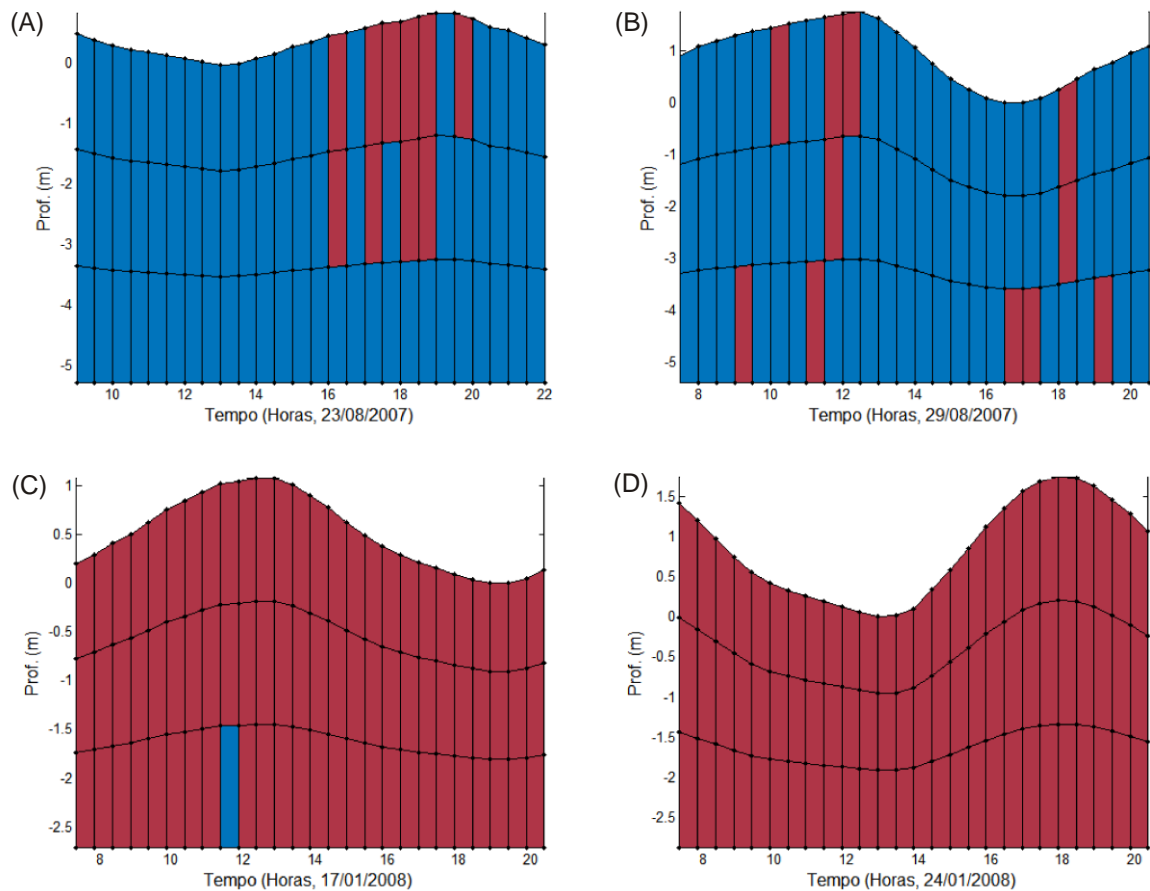
Onde g é a aceleração da gravidade, ρ é a densidade da água, $\frac{\partial \rho}{\partial Z}$ é a variação vertical de densidade e $\frac{\partial U}{\partial Z}$ é a variação vertical de velocidade de corrente longitudinal.

Dyer & New (1986) mostraram como o número de Richardson determina a natureza da mistura em estuários. No caso de $Ri < 0,25$, ocorre mistura vertical e instabilidade, o que significa que a turbulência é suficiente para superar as camadas de estratificação da densidade. Para $Ri > 0,25$, a mistura vertical não ocorre, caracterizando estratificação estável de massa na coluna d'água.

Em agosto de 2007, ambas as campanhas revelaram estabilidade ($Ri > 0,25$) na coluna d'água em quase todo o ciclo de maré. Apenas foi registrada instabilidade nos períodos de enchente de cada ciclo, próximo à ocorrência das estofas de maré. Na quadratura desse ano, a instabilidade ($Ri < 0,25$) foi observada apenas na camada superior da coluna d'água (Figura 20A). Na sizígia desse mesmo ano foi observada instabilidade em pontos isolados ao longo de toda a coluna d'água (Figura 20B), e

não apenas na superfície, como ocorreu na quadratura. Logo após a estofa de maré, há uma inversão da direção do perfil vertical das correntes no estuário, o que pode explicar a ocorrência de instabilidade nesse período. Nas campanhas de janeiro de 2008, foi observada forte instabilidade durante todo o ciclo de maré em condições de quadratura (Figura 20C) e sizígia (Figura 20D).

Figura 20 - Estabilidade na coluna d'água para as campanhas de quadratura (A) e sizígia (B) de 2007; e quadratura (C) e sizígia (D) de 2008. As partes azuis indicam estabilidade da estratificação, e as vermelhas, instabilidade.



Fonte: o autor.

Uma vez que as condições de vazão foram semelhantes em todas as campanhas, a mudança quanto à estabilidade ou instabilidade da coluna d'água entre os dois períodos de estudo (agosto de 2007 e janeiro de 2008) pode estar relacionada à variação na morfologia da desembocadura do estuário. A onda de maré é umas das responsáveis pelo aumento da mistura e consequente instabilidade da estratificação. A abertura da barra disposta na desembocadura pode

ter diminuído a resistência imposta à entrada da maré no estuário, aproximando a foz do estuário do ponto de coleta de dados.

Outra possível explicação para essa variação é a inversão na assimetria de maré entre os dois períodos de campanha. Em 2007, o estuário foi dominado por vazante, predominando os processos estabilizadores da coluna d'água. Em 2008, o estuário foi dominado por enchente, sendo a onda de maré responsável por aumento da instabilidade.

5.3 Intrusão Salina

A variação na intrusão salina entre as campanhas pode ser avaliada através de um sumário dos resultados obtidos nos perfis longitudinais. (Tabela 5).

Tanto nos perfis de baixamar (2007) quanto nos de preamar (2008), a intrusão salina foi maior durante a sizígia. Nessas condições, a isolinha de salinidade 2 avançou cerca de 6 km em direção à montante em relação às condições de quadratura do mesmo ano.

Nas campanhas de sizígia, houve também afastamento da zona de turbidez máxima em relação à foz. Essa zona se localiza na transição entre ZR e ZM, variando, portanto, conforme diversos fatores, entre eles descarga fluvial e altura de maré (POSTMA, 1980). Uma vez que ZR e ZM se afastam da desembocadura em condições de sizígia, a zona de turbidez máxima acompanha esse deslocamento.

Tabela 5 - Resumo dos resultados dos perfis longitudinais realizados nas quatro campanhas.

	2007		2008	
	Quadratura	Sizígia	Quadratura	Sizígia
δS (psu.km ⁻¹)	2,7	2,8	2,1	3,1
PIH 30 (km)	0,5	5,0	-	7
PIH 2 (km)	3,7	10,5	5,5	11,7
δT (°C)	1,5	0,9	1,2	1,3
PMPS _{máx} (km)	0	-	4,3	9,5
Média MPS _{máx} (mg.l ⁻¹)	42,2	-	30,8	79,5

δS : Variação de salinidade (psu.km⁻¹); PIH 30: Posição da isohalinda de 30 em relação à foz (km); PIH 2: Posição da isohalina de 2 em relação à foz (km); δT : variação da temperatura durante o perfil (°C); PMPS_{máx}: Posição da zona de máximo MPS em relação à foz (km); Média MPS_{máx}: média de MPS no perfil vertical no qual o MPS é máximo (mg.l⁻¹).

A intrusão salina foi maior em 2008 que em 2007, tanto na maré de sizígia quanto na de quadratura. Isso ocorre devido ao fato de o campo de salinidade estar associado à velocidade das correntes. Assim, a máxima intrusão salina ocorre no final da enchente (próximo à preamar), e a mínima, no final da vazante (próximo à baixamar) para ondas progressivas. (DYER, 1997).

A inversão da assimetria de maré entre 2007 e 2008 pode também ter afetado a intrusão salina. Como citado anteriormente, em janeiro de 2008, o estuário se apresentou dominado por vazante, e essa fase da maré perdurou durante 67% do ciclo aproximadamente. A maior duração da enchente facilita o maior alcance da intrusão salina em direção ao interior do estuário.

Na quadratura, a variação na intrusão salina entre preamar e baixamar foi de aproximadamente 1,5 km. Durante a sizígia, essa variação foi de cerca de 1 km. A menor variação da intrusão na sizígia que na quadratura vai de encontro ao observado em outros trabalhos. Para o estuário do rio Paraguaçu, também no estado da Bahia, Genz *et al.* (2008) verificaram que o avanço da intrusão salina na preamar em relação à baixamar é maior que em condições de quadratura. Os autores identificaram um avanço na isohalina de 5 na preamar, sendo esse avanço de 4 km durante a sizígia e de 1,6 km na quadratura.

6 CONCLUSÕES

Durante as campanhas de sizígia de 2007 e de 2008, o estuário se apresentou dominado por vazante e dominado por enchente, respectivamente. Uma possível explicação para esse fato seria a mudança na morfologia da desembocadura entre essas campanhas, que pode afetar a capacidade de armazenamento de água entre-marés no estuário. A assimetria de maré foi mais pronunciada nas campanhas de sizígia que naquelas de quadratura.

O perfil vertical médio de salinidade obedeceu a um mesmo padrão nas quatro campanhas, com valores menores na superfície, e maiores no fundo, e maior variação nos períodos de quadratura. Os perfis verticais médios de velocidade sofreram uma inversão entre 2007 e 2008. Em 2007, a velocidade média foi positiva (correntes de enchente), e em 2008, negativa (correntes de vazante), resultado condizente com a inversão de assimetria de maré. Apenas nas campanhas de quadratura se observou o comportamento bidirecional das correntes.

A estabilidade da coluna d'água também sofreu inversão entre 2007 e 2008, com estuário predominantemente estável no primeiro ano, e instável no segundo. A morfodinâmica da desembocadura e conseqüente alteração da assimetria de maré podem ser as responsáveis diretas por essa mudança.

Quanto aos perfis longitudinais, em condições de maré de sizígia, a intrusão salina avança cerca de 6 km estuário adentro em relação a sua posição durante a quadratura. Em 2008 houve avanço do alcance da água salgada, o que pode resultar tanto da fase de maré em que o perfil foi realizado (preamar) quanto da modificação da morfologia da desembocadura.

REFERÊNCIAS

- ADDAD, J. & MARTINS-NETO, M. A. Deforestation and coastal erosion: A case from east Brazil. **Journal of Coastal Research**, 16: 423-431, 2000.
- ANDRADE, A. C. S.; DOMINGUEZ, J. M. L. Informações geológico-geomorfológicas como subsídios à análise ambiental: o exemplo da planície costeira de Caravelas–Bahia. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 51, p.9–17, 2002.
- AUBREY, D.G. Hydrodynamic controls on sediment transport in well-mixed bays and estuaries. In: van de Kreeke, J. (Ed.), **Physics of Shallow Estuaries and Bays**. Springer, Berlin, pp. 245–258, 1986.
- AUBREY, D. G.; SPEER, P. E. A study of non-linear tidal propagation in shallow inlet/estuarine systems. Part I: Observations. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 21:185-295, 1985.
- BOON III, J. D.; BYRNE, R. J. On Basin Hypsometry and the Morphodynamic Response of Coastal Inlet Systems. **Marine Geology**, 40:27-48, 1981.
- BROWN J. M.; DAVIES A. G. Flood/ebb tidal asymmetry in a shallow sandy estuary and the impact on net sand transport. **Geomorphology** 114:431–439, 2009.
- CAMERON W. M.; PRITCHARD D. W. Estuaries. In: HILL MN (Ed.). The sea: ideas and observations on progress in the study of the seas. **Interscience**, New York, p. 306–324, 1963.
- CUSSIOLI, M. C. **Dinâmica da desembocadura do rio Itanhém, Alcobaça, BA**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Química e Geológica) - Universidade de São Paulo. 2010.
- DALRYMPLE, R. W.; ZAITLIN, B.A.; BOYD, R. Estuarine facies models: Conceptual basis and stratigraphic implications. **Journal of Sedimentary Petrology**, 62. 1130 – 1146, 1992.
- DIONNE, J. C. Towards a More Adequate Definition of The St. Z. **Geomorphogy**, p.36-44, 1963.
- DRONKERS, J. J. Tidal Computations in Rivers and Coastal Waters. **North Holland Publishing**, Amsterdam, 1964.
- DRONKERS, J. Tide-induced residual transport of fine sediment. In: van de Kreeke, J. (Ed.), **Physics of Shallow Estuaries and Bays. Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies**, Vol. 16. Springer, New York, pp. 228–244, 1985.
- DRONKERS, J. Tidal Asymmetry and Estuarine Morphology, **Netherlands Journal of Sea Research**, 20 (2/3): 117-131, 1986.
- DYER, K. R. **Estuaries: A Physical Introduction**. 2 ed. New Jersey: John Wiley & Sons. p. 195, 1997.

DYER, K. R.; NEW, A. L. 1986. Intermittency in estuarine mixing, in Wolfe, D. (ed.), **Estuarine variability**. Academic Press, 508 p, 1986.

FAIRBRIDGE, R. W. The estuary: its definition and geodynamic cycle. In: OLAUSSON E & CATO I (Eds.). **Chemistry and biogeochemistry of estuaries**. John Wiley and Sons, New York, p. 1–35, 1980.

FESTA, J. F.; HANSEN, D. V. Turbidity maxima in partially mixed estuaries: a two-dimensional numerical model. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** 7, 347-359, 1978.

FISCHER, H. B. Mass support mechanics in partially stratified estuaries. **Journal of Fluid Mechanics** 53, 672-687, 1972.

FOFONOFF, N. P.; MILLARD, R. C. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. Unesco Tech. Paper in: **Mar. Sci.**, N.o 44, 53pp, 1983.

FRIEDRICHS, C. T.; AUBREY, D. G. "Non-linear Tidal Distortions in Shallow Well-Mixed Estuaries: A Synthesis", **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 27: 521-545, 1988.

FURUKAWA, K.; WOLANSKI, E. Sedimentation in mangrove forests. **Mangrove Salt Marshes** 1:3–10, 1996.

GENZ, F.; LESSA, G. C.; CIRANO, M. Vazão mínima para estuários: um estudo de caso do Rio Paraguaçu/BA. **Rev. Bras. Rec. Hid.** 13:73-82, 2008.

GROEN, P. On the residual transport of suspended matter by an alternating tidal current. Netherlands. **Journal of Sea Research** 3–4, 564–574, 1967.

JAY, D. A.; SMITH, J. D. Residual circulation in and classification of shallow, stratified estuaries. In: Dronkers, J., van Leussen, W. (Eds.), **Physical Processes in Estuaries**, vol. 2141. Springer, Berlin, 1988.

JIANG, A. W.; ROSHANKA, R.; COWELL, P. Contemporary hydrodynamics and morphological change of a microtidal estuary: a numerical modelling study. **Ocean Dynamics** 63:21-41, 2013.

KJERFVE, B. Estuarine Geomorphology and Physical Oceanography. In: DAY Jr.; HALL, C.H.A.S.; KEMP, W.M.; YÁNEZ-ARANCIBA, A. (eds.). **Estuarine Ecology**. New York, Wiley, pp. 47-78, 1987.

LEÃO, Z. M. A. N. Abrolhos, BA – O complexo recifal mais extenso do Atlântico Sul. In: SCHOBENHAUS, C. et al. (Ed.). **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil**. [S.l.]: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), v. 1, p. 345–359, 2002.

LESSA, G.; MASSELINK, G. Morphodynamic evolution of a macro-tidal barrier estuary. **Mar Geol** 129:25–46, 1995.

MIRANDA, L. B. de; CASTRO, B. M. de; KJERFVE, B. **Princípios de oceanografia física de estuários**. São Paulo: EDUSP. 424 p, 2002.

MMA/SRH - Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos. **Plano diretor de recursos hídricos da bacia do extremo sul**. Volume 6. Documento síntese. Governo do Estado da Bahia. Superintendência de Recursos Hídricos, Salvador, 430 p. 1997.

MOORE, R. D.; WOLF, J.; SOUZA, A. J.; FLINT, S. S. Morphological evolution of the Dee Estuary, Eastern Irish Sea, UK: a Tidal Asymmetry Approach. **Geomorphology**, 103, 588-596, 2009

PARKER, B. B. The relative importance of the various nonlinear mechanisms in a wide range of tidal interactions (Review). In: B.B. Parker (ed.). **Tidal hydrodynamics**. John Wiley & Sons, New York, p. 237-268, 1991.

PEREIRA, M. D.; SIEGLE, E.; MIRANDA, L. B.; SCHETTINI, C. A.F.. Hidrodinâmica e transporte de material particulado em suspensão sazonal em um estuário dominado por maré: Estuário de Caravelas (BA). **Rev. Bras. Geof.**, São Paulo, v. 28, n. 3, Sept, 2010 .

POSTMA, H. Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment. **American Association of Advanced Science Publications**, 158–179, 1967

POSTMA H. Sediment transport and sedimentation. In: Olausson E, Cato I, editors. **Chemistry and biogeochemistry of estuaries**. Chichester, UK:Wiley. p 153–87, 1980.

PRITCHARD, D. W. Estuarine Circulation Patterns. **Proc. Amer. Soc. Civil Eng.**, 81: 1–11, 1955

RIBEIRO, L. V. *et al.* Direção de transporte sedimentar na desembocadura do rio Itanhém, extremo sul da Bahia. Aplicação do método de Gao & Collins e krigagem vetorial. **Geonomos**, v. 8, n. 2, p. 9–18, 2000.

RIDDERINKHOF, H. The effect of tidal asymmetries on the net transport of sediments in the Ems Dollard estuary. **Journal of Coastal Research**, 41–48, 1997.

SCHETTINI C.A.F.; MIRANDA L.B. Circulation and suspended particulate matter transport in a tidally dominated estuary: Caravelas estuary, Bahia, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, 58(1): 1-11. 2010.

SCHETTINI, C. A. F.; TRUCCOLO, E. C., “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, 1999.

SPEER, P. E.; AUBREY, D. G. "A study of non-linear tidal propagation in shallow inlet/estuarine systems: Part II-theory," **Estuarine, Coastal and Shelf Science** 21, 207-224, 1985.

UNCLES, R. J.; STEPHENS, J. A. "Salt Intrusion in the Tweed Estuary", **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 43, pp. 271-293, 1996.

VAN DE KREEKE, J.; DUNSBERGEN, D. W. Tidal asymmetry and sediment transport in Frisian Inlet. In: Yanagi, T. (Ed.), **Interactions Between Estuaries, Coastal Seas and Shelf Seas**. Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, 2000.

WANG, Z. B.; JEUKEN, M. C. J. L.; GERRITSEN, H.; DE VRIEND, H. J.; KORNMAN, B.A. Morphology and asymmetry of the vertical tide in the Westerschelde estuary. **Cont. Shelf Res.** 22, 2599–2609, 2002.

WOLANSKI, E.; MAZDA, Y.; RIDD, P. Mangrove hydrodynamics. In: Robertson AI, Alongi DM (eds) Tropical mangrove ecosystems. **American Geophysical Union**, Washington DC, pp 43–62, 1992.

WOLANSKI, E.; KING, B.; GALLOWAY, D. Dynamics of the turbidity maximum in the fly River estuary, Papua New Guinea. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** 40, 321–337, 1995

WOODRUFF, J. D.; GEYER, W.R.; SOMMERFIELD, C. K.; DRISCOLL, N. W. Seasonal variation of sediment deposition in the Hudson River estuary. **Marine Geology** 179, 105–119, 2001.

WRIGHT, J.; COLLING, A.; PARK, D.; OPEN UNIVERSITY. **Waves, tides and shallow-water processes**. 2nd ed. Oxford, England: Butterworth-Heinemann; Milton Keynes, England: Open University. 227 p, 1999.
England: Open University. 227 p, 1999.