



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
ÁREA DE ATUAÇÃO GEOLOGIA MARINHA, COSTEIRA E SEDIMENTAR**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E DOS PADRÕES DE
CIRCULAÇÃO E MISTURA DO ESTUÁRIO DO RIO JACUÍPE - LITORAL
NORTE DO ESTADO DA BAHIA**

Por

Geraldo Marcelo Pereira Lima

Orientador: Prof. Guilherme Camargo Lessa

Salvador – BA

2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
ÁREA DE ATUAÇÃO GEOLOGIA MARINHA, COSTEIRA E SEDIMENTAR

**CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E DOS PADRÕES DE CIRCULAÇÃO E MISTURA DO
ESTUÁRIO DO RIO JACUIPE - LITORAL NORTE DO ESTADO DA BAHIA**

por

Geraldo Marcelo Pereira Lima

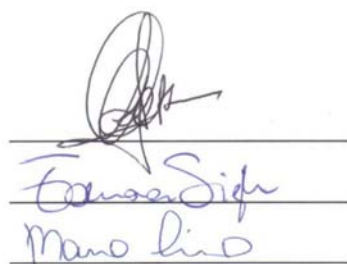
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Submetida em satisfação parcial dos requisitos ao grau de

MESTRE EM CIÊNCIAS
GEOLÓGICAS

à

Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa
da
Universidade Federal da Bahia



Handwritten signature of Manoel, written in blue ink, with a horizontal line underneath.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Guilherme Camargo Lessa
(Orientador-UFBA)

Prof. Dr. Eduardo Siegle (USP)

Prof. Dr. Mauro Cirano (UFBA)

Data de aprovação: 23/03/2007



Em memória de:
Semirames Pereira Lima

*Dedico este trabalho a
minha filha **Melanie Lima**
e a minha amada **Carolina Poggio**.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus pelo “Dom da Vida”, pelo entusiasmo e condições de trabalho.

Ao Curso de Pós-graduação em Geologia Marinha, Costeira e Sedimentar e, seu corpo de professores, em particular ao Prof. Guilherme Lessa, meu orientador, pela oportunidade e logística para realização do trabalho.

Aos coordenadores do curso Joildo Salomão Barbosa e José Maria Domingues Landim (início do curso) e Rui Kenji Papa Kikuchi (atual).

Aos demais professores, pela participação direta ou indireta na minha formação acadêmica, enquanto mestrando: Mauro Cirano, José Maria Domingues Landim, Abílio Bittencourt, Geraldo Vilas Boas, Facelúcia Barros, Altair Machado, Zelinda Leão, Rui Kikuchi (membros da pós-graduação) e aos professores Luis Bruner de Miranda (IO-USP), Arno Brichta, Osmário Leite, Félix Farias, Antônio Fernando Queiroz, Tânia Araújo, Lucedino Paixão (Professores IGEO-UFBA) e ao professor Eduardo Siegle (IO-USP) pela participação na banca examinadora.

Ao CNPq pelo fomento ao projeto, a CAPES, pela concessão da bolsa de pesquisa e aos órgãos governamentais como: Empresa Baiana de Água e Saneamento - EMBASA, Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Companhia de Desenvolvimento Urbano e Regional da Bahia - CONDER, Superintendência de Recursos Hídricos - SRH, Empresa de Proteção Ambiental da Bahia - CETREL e a MILLENIUM CHEMICALS pela disponibilidade dos dados utilizados na dissertação e consulta bibliográfica.

À Gilzélío Nascimento, Nilton Santos, Nilton Silva e Joaquim Lago pelo suporte acadêmico.

Agradecimento especial a Taoan Franklin pela grande ajuda na modelagem dos dados.

Aos companheiros nestes anos de trabalho, que se tornaram amigos: Simone Moraes, Helisângela Acris, José Bites, Atilson Sacramento, Juzenilda Figueredo, Augusto Minervino, Fabíola Amorim, Fernando Genz, Vanessa do Espírito Santo, Franz Rangel, Paulo Accioly, Saulo Spano, Léo Dutra, Rian Pereira, Patrícia Velame, Grace Mascarenhas, Lucas Nascimento, Adeilan Nascimento, Juliana Bernal, Rafael Xavier e demais colegas que possa ter esquecido pela etapa de conclusão. Gostaria de agradecer Israel, Najana, Cláudio e Carlos – técnicos do laboratório de sedimentologia.

RESUMO

O monitoramento das características sedimentológica e hidrodinâmica do estuário do Rio Jacuípe (Litoral Norte do Estado da Bahia) foi realizado entre 2001 e 2002, com o objetivo de compreender a variabilidade dos mecanismos dominantes da circulação e mistura e sua influência na dinâmica sedimentar estuarina. O estudo apontou sobre as mudanças e impactos que deverão ocorrer, quando efetivar a captação das águas da barragem e pelas mudanças climáticas conjeturadas, limitando o estuário a uma condição ínfima de descarga fluvial (sólida e líquida). Com as condições atuais, predominou o padrão de circulação gravitacional, com correntes residuais de vazante na superfície e, para o fluxo de enchente, as correntes residuais ocorrem no fundo, em distintas condições de maré. O efeito da elevada descarga fluvial, destruiu a circulação gravitacional, ocorrendo o bombeamento fluvial (unidirecional), com fluxo exclusivamente de vazante. O volume total da descarga fluvial estimado para o estuário, de $21.78 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (24% destes correspondendo à vazão da área jusante à Barragem Santa Helena) tornar-se-ão escassos. Atualmente, a operação da barragem alterou tanto no regime quanto na intensidade das descargas. A alteração atingiu os extremos da curva de permanência com descargas nulas passando a ocorrer com períodos mais prolongados e mais freqüentes picos de cheias. As marés, por sua vez, foram caracterizadas como semidiurnas, com assimetria positiva da onda de maré, com os tempos de subida normalmente $1 \frac{1}{2}$ horas mais rápidos que a descida. As alturas médias são de 1.10 m e 0.60 m em sizígia e quadratura, respectivamente. Quando sob influência de intensa descarga fluvial ocorre o truncamento da maré tornando assimetricamente negativa. O estuário apresentou comportamento hiposincrônico, sofrendo atenuação de até 0.75 m na maré de sizígia. Neste período, o efeito da maré dinâmica ocorre até 25 km, com a extensão da zona de mistura limitando-se a 13 km da embocadura. As correntes em maré de sizígia têm o dobro de intensidade que na maré de quadratura e a massa d'água maior salinidade e turbidez. Os padrões de mistura encontrados dependeram do equilíbrio da ação fluvial e das marés. Duas condições de mistura puderam ser observadas: de bem misturado a parcialmente misturado, com a maior turbidez associada aos períodos de maior intensidade das correntes. Areia siliciclástica, composta por quartzo predomina no canal estuarino, com diâmetro médio variando de areia média a areia fina em 90% das amostras e pouca presença de sedimentos finos.

ABSTRACT

The Sedimentological and hydrodynamics characteristics of the Jacuípe River estuary (Coastal North State of Bahia) was monitored between 2001 and 2002, with the objective to understand the variability of the circulation and mixture estuarine mechanisms and its influence in estuarine turbidity maximum. The total freshwater discharge is $21.78 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ being that 24% of these ($5.27 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), it corresponded the outflow of the Santa Helena Dam. This dam modified in such a way in the sazonnality and intensity discharges. This modification reached the extremities of the discharge curve, with absences of discharge and peak discharges starting to occur more frequently during periods of drawn out and periods where the water retention of the reservoir is full, respectively. The tides are semi-diurnal, with positive asymmetry with the ascending time normally $1 \frac{1}{2}$ hours faster than the descending time. The average heights are 1.10 m and 0.60 m during spring and neap tides, respectively. Under the influence of intense fluvial discharge the tidal penetration is modified and it the asymmetry is reversed, becoming negative. The estuary presented an hiposincronic behavior, suffering attenuation from up to 0.75 m during spring tides. In this period, the effect of the dynamic tide occurs up to 25 km, with the extension of the mixture zone being limited to 13 km of the mouth. The currents during spring tides have their intensity doubled when compared to those observed during neap tides. Larger salinity differences and turbidity maximum were observed during spring tides. The mixture patterns are a result of a balance of the river inflow and the tidal prism. Two conditions of mixture are observed: i) well-mixed and ii) partially mixed, with the largest maximum turbidity being associated to the periods of largest currents. In the bottom of the estuary the sediment is siliciclastic, composed by quartz sand, with average sand diameter varying from medium sand to fine sand (in 90% of the samples) and little presence of fine sediments.

ÍNDICE

Índice de figuras	x
Índice de tabelas	xii
1. Introdução	1
1.1. O Estuário do Rio Jacuípe	2
1.2. Área de estudo	4
1.2.1. Bacia hidrográfica	4
1.2.2. Geologia e geomorfologia	6
2. Embasamento teórico	9
2.1. Definições e classificações	10
2.2. Dinâmica estuarina	13
2.2.1. Descarga fluvial	13
2.2.2. Distribuição espacial de sedimentos de fundo	15
2.2.3. Dinâmica das marés	16
2.2.4. Padrões de circulação e mistura	17
2.2.5. Dinâmica dos sedimentos finos	20
3. Metodologia	22
3.1. Análise hidrológica do Rio Jacuípe	23
3.1.1. Análise da consistência de dados	24
3.1.2. Vazão natural	26
3.1.3. Vazão modificada	26
3.1.4. Descarga fluvial total	28
3.1.5. Análise hidrológica das demais bacias do Litoral Norte	31
3.2. Batimetria e modelo digital da área intermareal	34
3.3. Sedimento de fundo	36
3.4. Marés	38
3.5. Monitoramento espacial	41
3.6. Monitoramento da variação temporal do fluxo	43
4. Resultados	45
4.1. Descarga fluvial	46
4.1.1. Consistência nos dados das estações do Rio Jacuípe	46
4.1.2. Análise Hidrológica do Rio Jacuípe	47
4.1.2.1. Precipitação	47

4.1.2.2. Descarga fluvial	49
4.1.3. Variabilidade interanual	52
4.1.4. Descarga fluvial total para a zona estuarina	54
4.1.5. Comportamento hidrológico das bacias de drenagem do LNEB	56
4.2. Batimetria	59
4.3. Sedimento de Fundo	62
4.4. Marés	68
4.4.1. Maré astronômica	68
4.4.2. Assimetria e prisma de maré	70
4.4.3. Marés meteorológicas	71
4.5. Monitoramento longitudinal da coluna d'água	73
4.5.1. Salinidade	73
4.5.2. Turbidez	79
4.6. Monitoramento da variação temporal do fluxo	83
4.6.1. Padrões de circulação e mistura	83
4.6.2. Correntes, salinidade e turbidez	85
5. Discussões	95
5.1. Descarga fluvial	96
5.1.1. Modificações causadas pela variabilidade interanual da precipitação	96
5.1.2. Modificações causadas pelo barramento	98
5.3. Marés	103
5.4. Padrões de circulação e mistura estuarina	105
5.2. Sedimento de fundo	109
5.5. Turbidez	111
6. Conclusões	114
7. Bibliografia	122
8. Anexos	121
Anexo 1 – Descargas da Barragem Santa Helena em 2001 e 2002	122
Anexo 2 - Escala granulométrica Wentworth dos sedimentos	124
Anexo 3 - Dados do percentual das frações cascalho, areia, silte e argila	125
Anexo 4 - Análise granulométrica do sedimento de fundo do estuário do Rio Jacuípe	127
Anexo 5 - Tabela referente aos dados de maré oceânica em Praia do Forte	135
Anexo 6 - Constituintes harmônicos, amplitude e fase da maré do estuário do Rio Jacuípe	136
Anexo 7 - Resumo dos dados médios obtidos com os monitoramentos temporais do fluxo	137
Anexo 8 - Resumo dos dados extremos obtidos com os monitoramentos temporais do fluxo	137

Índice de figuras

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe, com sua respectiva divisão municipal.	5
Figura 2 - Vista aérea da Barragem de Santa Helena (Rio Jacuípe) de jusante para montante.	5
Figura 3 - Vista frontal da Barragem Santa Helena, com o detalhe das comportas.	6
Figura 4 - Mapa geológico simplificado da bacia do Rio Jacuípe, com detalhe do trecho estuarino.	8
Figura 5 - Diagrama esquemático de um estuário hipotético e suas áreas de transição.	11
Figura 6 - Modelo de distribuição de fácies estuarina em função da energia hidrodinâmica.	16
Figura 7 - Modelo dos padrões de mistura estuarina.	18
Figura 8 - Modelos de circulação estuarina gravitacional e correntes residuais.	20
Figura 9 - Localização das estações fluviométricas dos principais rios do litoral norte da Bahia.	24
Figura 10 - Coeficiente de descarga em função da relação a/H_1 .	27
Figura 11 - Bacia hidrográfica do Rio Jacuípe, com a distribuição das isoietas anuais.	30
Figura 12 - Dados hidrometeorológicos médios mensais da bacia do Rio Jacuípe	30
Figura 13 - Curvas-chave da estação Corte Grande (Rio Inhambupe).	33
Figura 14 - Curvas-chave da estação Tiririca (Rio Pojuca).	33
Figura 15 - Mosaico de fotos aéreas da zona estuarina do Rio Jacuípe da área intermareal.	35
Figura 16 - Localização das amostras de sedimento de fundo, coletadas no estuário do Rio Jacuípe.	37
Figura 17 - Localização das estações maregráficas 1 e 2 no estuário do Rio Jacuípe.	39
Figura 18 - Localização da estação maregráfica 1.	40
Figura 19 - Modelo do linígrafo utilizado na coleta dos dados.	40
Figura 20 - Coleta dos parâmetros de salinidade e turbidez no estuário do Rio Jacuípe.	42
Figura 21 - Curva-chave da estação fluviométrica Mata de São João.	46
Figura 22 - Hietogramas de dados médios e máximos acumulados mensalmente.	48
Figura 23 - Curva de frequência das vazões do Rio Jacuípe e da Barragem Santa Helena.	50
Figura 24 - Hidrogramas do Rio Jacuípe da Barragem Santa Helena, entre 2001 e 2005.	51
Figura 25 - Curva de melhor ajuste dos dados vazão média anual de Mata de São João e Emboacica.	52
Figura 26 - Vazão média anual do Rio Jacuípe de 1955 a 1999 (Estação de Emboacica).	53
Figura 27 - Ciclos de baixa frequência de precipitação e vazão para filtros de 12 anos.	53
Figura 28 - Hidrograma das médias mensais das sub-áreas a jusante da estação de Emboacica	54
Figura 29 - Hidrograma das descargas médias mensais do Rio Jacuípe.	55
Figura 30 - Descarga fluvial total esperada para a zona estuarina.	55
Figura 31 - Hidrogramas das médias diárias do rio Pojuca, Subaúma, Inhambupe, Itapicuru e Real.	56
Figura 32 - Hidrogramas das descargas médias e máximas mensais dos rios do LNEB.	57
Figura 33 - Vazão específica dos rios do litoral norte do Estado da Bahia.	58
Figura 34 - Ciclos hidrológicos de baixa frequência dos rios Jacuípe, Pojuca, Inhambupe e Real.	58
Figura 35 - Variação do índice de sinuosidade, largura do canal e a profundidade do talvegue.	60
Figura 36 - Mapa batimétrico do estuário do Rio Jacuípe.	61
Figura 37 - Barra de desembocadura do estuário do Rio Jacuípe com detalhe do delta de maré enchente.	62
Figura 38 - Classificação do sedimento de fundo do estuário do Rio Jacuípe.	64
Figura 39 - Amostras com predominância do percentual de lama acima de 5%.	65
Figura 40 - Composição das fácies sedimentares do estuário do Rio Jacuípe	67
Figura 41 - Propagação da maré oceânica no estuário entre quadratura e sizígia em agosto de 2002.	69
Figura 42 - Alturas de marés registrada na estação maregráfica 1, entre 03/05 a 10/08 de 2002.	69

Figura 43 - Logaritmo natural da razão do tempo de enchente e vazante pela altura da preamar.	70
Figura 44 - Truncamento da maré proporcionado pela intensa descarga fluvial.	71
Figura 45 - Marégrama da estação 1 do estuário do Rio Jacuípe, entre maio e agosto de 2002.	72
Figura 46 - Direção do vento junto a costa no LNEB, entre 15 e 30 de maio de 2002.	72
Figura 47 - Perfis de salinidade do estuário do Rio Jacuípe, em setembro de 2001 – preamar.	74
Figura 48 - Perfis de salinidade do estuário do Rio Jacuípe, em setembro de 2001 – baixamar.	75
Figura 49 - Descarga da Barragem Santa Helena e precipitação mensal durante os monitoramentos.	77
Figura 50 - Perfis de turbidez do estuário do Rio Jacuípe, em setembro de 2001 – preamar.	80
Figura 51 - Perfis de turbidez do estuário do Rio Jacuípe, em setembro de 2001 – baixamar.	81
Figura 52 - Diagrama de estratificação e circulação do estuário do Rio Jacuípe.	84
Figura 53 - Dados do monitoramento do dia 27/04/02.	87
Figura 54 - Dados do monitoramento do dia 19/05/02.	88
Figura 55 - Dados do monitoramento do dia 28/05/02.	89
Figura 56 - Dados do monitoramento do dia 16/06/02.	90
Figura 57 - Dados do monitoramento do dia 07/07/02.	91
Figura 58 - Dados do monitoramento do dia 09/07/02.	92
Figura 59 - Dados do monitoramento do dia 12/07/02.	93
Figura 60 - Dados do monitoramento do dia 31/07/02.	94
Figura 61 - Ciclos hidrológicos de baixa frequência do litoral sul e extremo sul da Bahia.	97
Figura 62 - Cenário global sobre a mudança de precipitação para o século XXI.	98
Figura 63 - Frequência de Permanência do nível do lago a montante da Barragem Santa Helena.	106
Figura 64 - Efeitos da regularização das vazões no regime hidrológico.	106
Figura 65 - Demanda de retirada de água e capacidade de vazão anual da Barragem de Santa Helena.	108
Figura 66 - Histórico e tendência da descarga fluvial do Rio Jacuípe.	109
Figura 67 - Perfil esquemático do Rio Jacuípe, com as dimensões da bacia hidrográfica.	101
Figura 68 - Diminuição da seção crítica estuarina das barras de embocadura ao longo do litoral da Bahia.	102
Figura 69 - Situação da BTS em relação ao estuário do Rio Jacuípe e Rio Paraguaçu	103
Figura 70 - Modelo de influência da direção dos ventos no abaixamento e/ou elevação do nível médio do oceano.	105
Figura 71 - Razão de fluxo (R/P) entre os prismas de sizígia e quadratura.	107
Figura 72 - Aumento da sinuosidade na cabeceira do estuário.	110
Figura 73 - Fragmentos de vegetal encontrado depositado como parte do sedimento de fundo.	112

Índice de tabelas

Tabela 1 - Classificação da divisão estuarina.	12
Tabela 2 - Estações fluviométrica e pluviométrica do Litoral Norte do Estado da Bahia.	23
Tabela 3 - Classificação das estações fluviométricas - vazão máxima.	25
Tabela 4 - Classificação das estações fluviométricas - vazão mínima.	25
Tabela 5 - Relação Área/Pluviosidade do setor a jusante da estação de Emboacica.	29
Tabela 6 - Classificação primária das estações fluviométricas do LNEB	32
Tabela 7 - Reclassificação das estações fluviométricas do LNEB para as vazões máximas.	33
Tabela 8 - Dados de vazão, maré e precipitação dos dias de monitoramento em 2001	41
Tabela 9 - Classificação primária das estações fluviométricas do Rio Jacuípe quanto à qualidade dos dados	46
Tabela 10 - Faixas de transição de salinidade para o estuário do Rio Jacuípe	77
Tabela 11 - Extensão da intrusão salina entre a preamar e baixamar.	78
Tabela 12 - Parâmetros de estratificação e circulação obtidos para o estuário do Rio Jacuípe.	84
Tabela 13 – Capacidade (em horas) de remoção de substâncias considerando as trocas de água do estuário.	108

1 . INTRODUÇÃO

*Quem não vive as alegrias
de suas próprias conquistas,
personifica-as,
por meio das conquistas de outrem.*

(O autor – abril de 1994)

1.1. O Estuário do Rio Jacuípe

O Litoral Norte do Estado da Bahia (LNEB) possui aproximadamente uma extensão de 200 km, compreendida entre o limite de Salvador e Lauro de Freitas, até a divisa do Estado com Sergipe (Rio Real). Nessa porção da costa pode-se contemplar belíssimas praias, campos de dunas e restingas, recifes de corais, manguezais, inúmeras bacias de drenagem cortando a planície costeira e, no trecho final destas, estuários de diferentes dimensões.

A bacia do Rio Jacuípe está entre as que possuem menor extensão neste litoral, com área de 1275 km² e, atualmente, é o único a ter seu fluxo controlado por barragem próximo da foz, neste caso, a de Santa Helena. Por conta disso, merece atenção especial deve ser dada ao estuário. A presença da barragem pode alterar na dinâmica natural das descargas, aumentando ou diminuindo a intensidade do fluxo, bem como alterando no regime hidrológico destes. Seu efeito é, até então, desconhecido.

Apesar da pequena dimensão, destaca-se pela exploração de petróleo no município de São Sebastião do Passé (Bacia do Recôncavo) e pela presença de um dos maiores complexos industriais do Brasil (Complexo Petroquímico de Camaçari). Atualmente, a atividade do turismo ocupa também um lugar privilegiado próximo ao litoral. Porém, a qualidade ambiental do Rio Jacuípe vem sendo comprometida devido às intensas atividades humanas desenvolvidas na sua bacia hidrográfica e na zona costeira adjacente.

A partir da década de 70, a utilização de suas águas foi destinada ao abastecimento urbano dos municípios de Amélia Rodrigues, São Sebastião do Passé e Mata de São João e para o uso industrial em usinas de açúcar e destilarias de aguardente que atuam na região. Estas atividades comprometeram a qualidade do rio, haja visto que o esgotamento sanitário destes municípios era lançado sem o devido tratamento, através da rede de escoamento de águas pluviais.

Com a implantação do Complexo Petroquímico de Camaçari (1978), o Rio Capivara Pequeno (afluente do Jacuípe) passou a ser utilizado como corpo receptor dos efluentes industriais. Como consequência, observou-se neste período uma grande mortandade de peixes e moluscos, afetando, sobretudo, a comunidade de Barra do Jacuípe, onde se encontra o trecho estuarino (BAHIA, 1981). O período crítico de poluição iniciou-se a partir de 1979, quando entrou em operação a estação de tratamento de efluentes líquidos da CETREL (Central de Tratamento de Efluentes Líquidos) e os sobressalentes transportados para o Rio Jacuípe. Atualmente, os

efluentes industriais tratados pela CETREL são lançados no oceano, via emissário submarino. Contudo as águas pluviais captadas são ainda lançadas no Rio Capivara Pequeno.

Nos primeiros levantamentos de dados e estudos para avaliar as características físico-químicas no estuário, diante da liberação dos efluentes, observou-se a presença de chumbo, cobre, zinco, arsênio e cromo nos sedimentos acima dos limites máximos permissíveis (BAHIA, 1981). Observou-se também, o decréscimo (chegando a zero) das concentrações de oxigênio dissolvido e a presença de vinhoto na zona estuarina (da Silva *et al.* 1994). Com o recente crescimento da urbanização, ao longo do litoral, aumentou a demanda de água e o lançamento de esgotos domésticos na região. Com isso, os sinais de contaminação são ainda acima dos padrões permitidos e, neste caso, nocivos a saúde humana.

A CETREL vem monitorando semestralmente, desde 1994, a auto-recuperação dos níveis de metais pesados dos rios Capivara Pequeno e Jacuípe (trecho estuarino). Porém, os dados coletados pela empresa foram desprovidos de um controle hidrodinâmico (marés, descarga fluvial, precipitação) que governa a circulação no estuário. Para se obter uma compreensão adequada da dinâmica estuarina no local, deve-se quantificar os volumes de entrada e saída de água e materiais (sal, sedimentos, poluentes, etc), de modo a se conhecer destino final destes. A determinação deste balanço deve envolver medições durante um período de tempo adequado, a fim de englobar as variações periódicas e sazonais da maré e da descarga de água doce, dados estes utilizados para previsão dos eventos catastróficos. Isto se torna importante especialmente após a tentativa de regularização da vazão do rio, com a reconstrução da Barragem Santa Helena em 2000.

Os objetivos principais deste estudo são: caracterizar a variabilidade dos mecanismos controladores da circulação e mistura estuarina e sua respectiva influência no transporte de sedimento em suspensão. O estudo almeja ainda:

- i)* verificar a extensão de propagação da onda de maré e penetração de sal;
- ii)* parametrizar a extensão da zona de mistura, associadas as diferentes condições e volumes da maré e vazão fluvial;
- iii)* determinar a distribuição dos sedimentos de superfície de fundo e;
- iv)* investigar a existência da zona de turbidez máxima.

Para atingir tais objetivos será necessário o cumprimento das seguintes metas, para cada variável:

Descarga fluvial - caracterizar o regime hidrológico e avaliar a vazão ao longo do tempo antes e após a regularização das vazões ocasionada pela Barragem Santa Helena, determinando a vazão total da bacia para a zona estuarina, e comparando o regime de descargas do rio Jacuípe aos demais rios do LNEB;

Batimetria - caracterizar a geometria do canal estuarino, obtendo os volumes médios do estuário para diferentes alturas de maré;

Marés - verificar o comportamento da onda de maré astronômica, sua altura, elevação e assimetria e a influência das perturbações hidrometeorológicas.

Sedimentos de fundo – determinar as características composicionais dos sedimentos estuarinos, sua relação com a morfologia do fundo e identificar as áreas com potencial de deposição dos sedimentos finos;

1.2. Área de estudo

1.2.1. Bacia hidrográfica

A cabeceira do Rio Jacuípe se localiza entre os municípios de Conceição do Jacuípe e Amélia Rodriguez e percorre cerca de 140 quilômetros entre a nascente e foz. O trecho final do rio pertence ao município de Camaçari, onde a morfologia meandrante e as condições estuarinas são observadas (Figura 1). Os principais afluentes do Rio Jacuípe, com descarga direta na zona estuarina, são os rios Capivara pequeno e o Capivara grande (Figura 1). Este último deságua próximo da desembocadura do Rio Jacuípe.

O Rio Jacuípe é represado a 35 km da desembocadura pela Barragem Santa Helena (BSH), que drena uma área de 880 km². A barragem foi construída com o propósito de ampliar o suporte ao abastecimento de água da Região Metropolitana de Salvador. Sua construção foi concluída em 1981, mas rompeu-se em maio 1985. Em 2000 voltou a ser operacional após a sua reconstrução (Figuras 2 e 3). Sua capacidade de acumulação é de 240,6x10⁶ m³, com um espelho d'água de 40,3 km².

A bacia do Rio Jacuípe apresenta um alto gradiente de redução da precipitação da faixa litorânea, com alta pluviosidade, em relação à cabeceira da bacia. Apresenta características de clima do tipo tropical chuvoso, segundo a classificação de Köppen (Accioly, 1997). Sendo assim, seus tributários permanecem perenes a maior parte do ano. A precipitação média acumulada (*isoietas*) na bacia do Rio Jacuípe varia entre 1900 mm/ano (próximo do litoral) e 1100 mm/ano (na cabeceira).

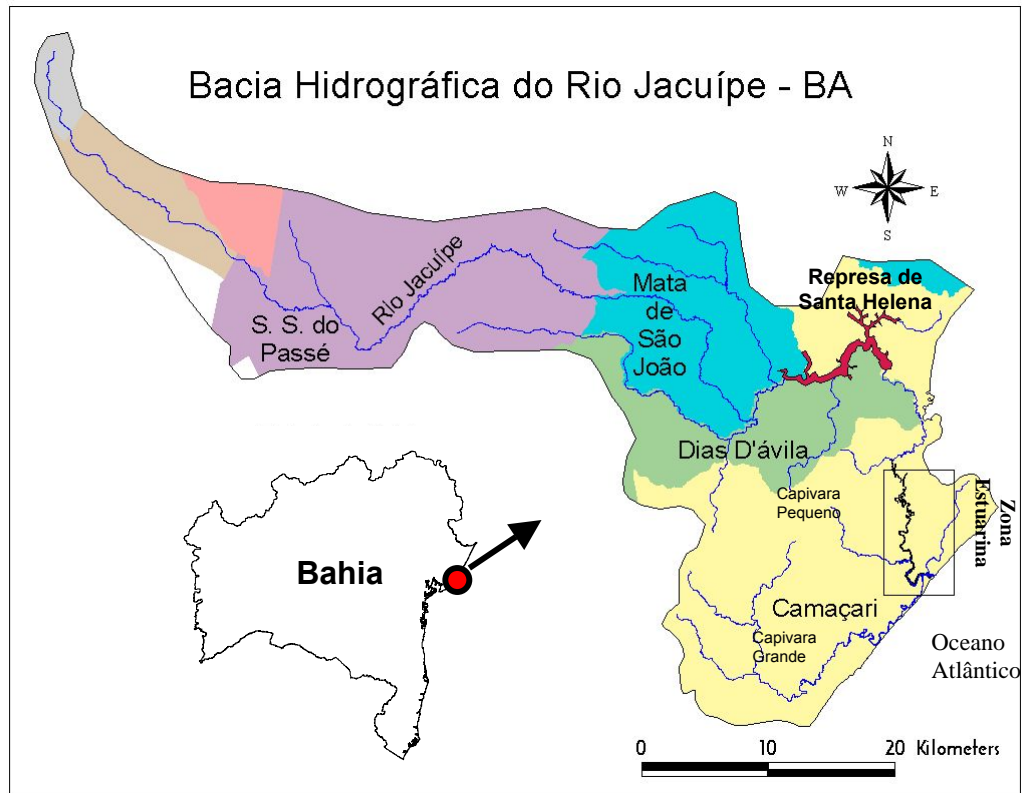


Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe, com os limites municipais em tons de cinza (Adaptado de SRH, 2003).



Figura 2 - Vista aérea da Barragem de Santa Helena (Rio Jacuípe) de jusante para montante, após a sua reconstrução (Foto: EMBASA).

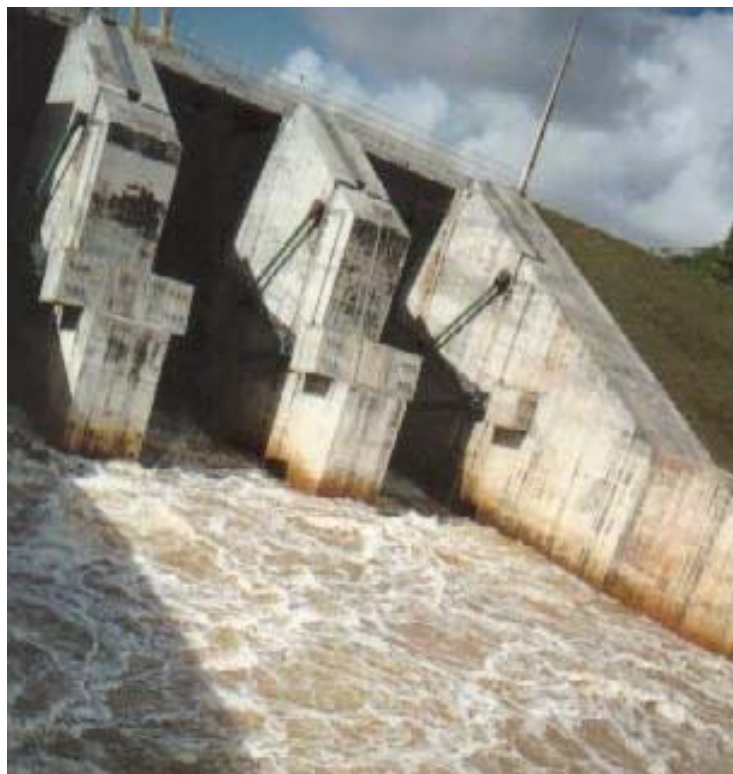


Figura 3 - Vista frontal da Barragem Santa Helena, com o detalhe das comportas (Foto: EMBASA).

1.2.2. Geologia e geomorfologia

O estuário do Rio Jacuípe pode ser classificado como sendo de planície costeira, segundo os tipos geomorfológicos sugeridos por Pritchard (1967).

Em meio às demais bacias do Litoral Norte do Estado da Bahia, a do Rio Jacuípe é relativamente pequena, apresentando uma morfologia monótona sem grandes ressaltos topográficos. No alto e médio curso da bacia, a drenagem principal corta depósitos sedimentares, de origem quaternária (QI – Quaternário Indiferenciado), que se encontram sobrepostos às rochas cretáceas da Formação São Sebastião (*K*) (Figura 4), composta de arenitos finos a grossos com intercalações de siltitos e folhelhos. Capeando a Formação São Sebastião, observa-se a extensão residual da Formação Barreiras (*Tb*), com sedimentos areno-argilosos e com níveis conglomeráticos, de idade terciária (Martin *et al.* 1980). Esta Formação representa as principais elevações, com altitudes máximas de 60m, formando tabuleiros costeiros seccionados, que na região são cortados pela rede de drenagem (Accioly, 1997). A planície costeira se inclina no sopé da Formação Barreiras, com a presença de leques aluviais.

Além dos leques, as principais unidades geomorfológicas, de idade quaternária, que compõem esta planície são: dunas, terraços marinhos, depósitos flúvio-lagunares, terras úmidas (brejos, pântanos e manguezais), arenitos de praia e depósitos associados à praia atual (Martin *et al.* 1980). Os depósitos sedimentares da planície costeira foram formados por estágios transgressivos e regressivos do nível do mar, que ocorreram durante o Pleistoceno (Martin *et al.* 1980), compostos de areias e siltes argilosos ricos em matéria orgânica. Observam-se ainda, depósitos de leques aluviais (Q_{tl}), com areias mal selecionadas, contendo seixos (BAHIA, 2000). Na embocadura do estuário se forma uma barra arenosa, com crescimento no sentido SW-NE, onde predominam areia quartzosa, bem selecionada, com conchas marinhas. A morfologia desta barra é controlada pelas estruturas de arenito de praia (Q_{ap}), que comprime lateralmente a seção crítica da embocadura (seção de menor largura), aflorando também no fundo da mesma. Periodicamente, a barra é deslocada em função das variações sazonais da deriva litorânea, descarga fluvial e diferentes fases da maré. Os depósitos eólicos litorâneos observados são constituídos de areias bem selecionadas com grãos arredondados. Afloramentos de rochas do Pré-Cambriano ($p\varepsilon$) ocorrem próximo da confluência com o Rio Capivara Grande, a menos de 1 km da atual linha de costa (Figura 4).

O canal estuarino em si se estabeleceu sobre depósitos flúvio-lagunares (Q_{fl}) de idade quaternária (Figura 4). Às margens deste canal são encontrados depósitos recentes de manguezal, com topografia bastante monótona, assim como as demais feições morfológicas. O manguezal predomina na margem esquerda, devido à margem oposta, de maior elevação sofrer o controle estrutural estabelecido pelo sistema de falha da Bacia do Recôncavo (Figura 4). Ao longo desta falha, bem como no leito do estuário, afloram rochas formadas por níveis de arenito e conglomerado.

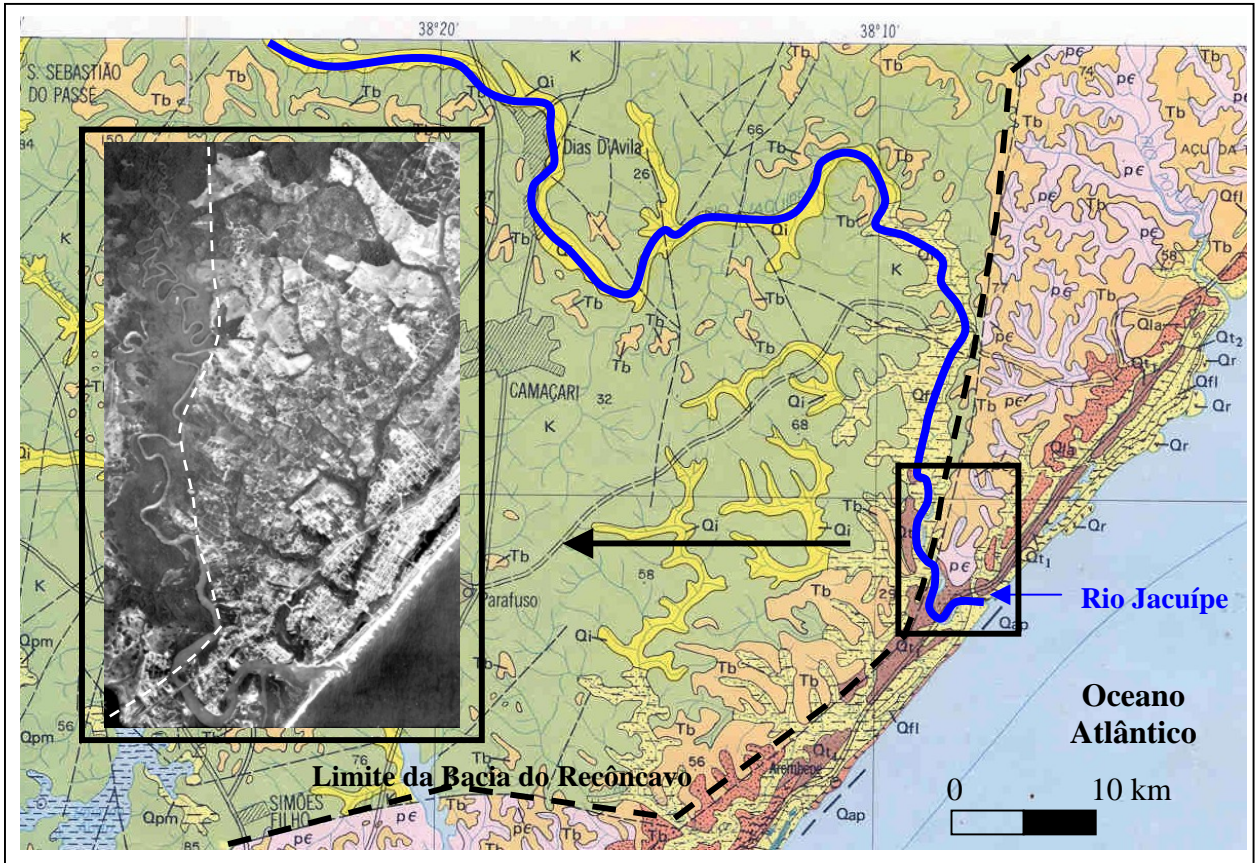


Figura 4 - Mapa geológico simplificado da bacia do Rio Jacuípe (adaptado de Martin *et al.* 1980), com detalhe do trecho estuarino (Foto: CONDER).

2.

EMBASAMENTO TEÓRICO

... *A* beleza salvará a humanidade.

(Dostoievski)

2.1. Definições e classificações

Estuários são feições costeiras bastante dinâmicas no tempo e no espaço sendo encontrados nas zonas costeiras de todo o mundo, em todas as latitudes, exceto nos pólos. São caracterizados como ambientes de transição, responsáveis pelo equilíbrio dos fatores físico-químicos e biológicos, entre a bacia hidrográfica e a zona costeira.

Desde o aparecimento das primeiras civilizações até os dias atuais, os estuários têm sido alvo da intensa exploração, especialmente, pelo fato de serem locais favoráveis a concentração urbana, de indústrias e pela facilidade do transporte hidroviário. Geralmente são ambientes bem protegidos, onde prevalecem as atividades econômicas, devido à facilidade de distribuição e logística da produção. Atualmente a maior parte da ocupação humana concentra-se nos litorais de todos os continentes, principalmente as margens de grandes estuários, comprometendo assim, a qualidade dos ambientes aquáticos (Miranda *et al.* 2002).

Do ponto de vista geológico são ambientes efêmeros, com tendência a serem gradualmente preenchidos até atingirem um estágio final de evolução, quando os sedimentos fluviais serão lançados diretamente no mar. Sua origem está associada à inundação dos vales na zona costeira, devido a subidas do nível relativo do mar. No litoral brasileiro formaram-se ao final da última transgressão marinha, há cerca de 5000 anos (Miranda *et al.* 2002). Morfologicamente, os estuários podem estar associados ao afogamento do vale de um rio ou a um vale formado por movimentos tectônicos, com ou sem barras arenosas na embocadura (Fairbridge, 1980). Os estuários de planície costeira são amplamente distribuídos ao redor do mundo, apresentando uma forma irregular, resultado do afogamento de vales de rios durante a transgressão holocênica (Perilo, 1995) no litoral brasileiro. São relativamente rasos, raramente ultrapassam 30 m de profundidade (Kjerfve, 1997).

Existem diferentes definições e classificações atribuídas aos ambientes estuarinos. Estas definições podem ser baseadas na característica fisiográfica, no gradiente de salinidade, nos padrões de circulação e mistura, na variação da altura de maré, na distribuição de fácies sedimentar e das comunidades biológicas presentes neste ambiente (Elliott & McLusky, 2002; Dalrymple *et al.* 1992).

Uma das definições mais populares, adotada neste trabalho, é a de Pritchard (1952), de cunho oceanográfico:

“Estuário é um corpo de água costeiro semifechado, com uma livre ligação com o oceano aberto, no interior do qual a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental”...

Uma subdivisão para os ambientes estuarinos foi apresentada por Kjerfve (1987) (in: Miranda et al. 2002), em três zonas, com base na interação entre o prisma de maré e a descarga fluvial, fatores primeiramente responsáveis pela circulação e padrão de sedimentação (Figura 5):

Zona de Maré do Rio (ZR) - onde a salinidade da água é sempre menor que 1 unidade prática de salinidade (ups), mas o efeito da maré dinâmica ainda é observado na cabeceira do estuário, sendo o limite das correntes bidirecionais;

Zona de Mistura (ZM) - área que apresenta uma variação de salinidade entre 1 a 35, com correntes bidirecionais e onde uma zona de turbidez máxima pode ser observada;

Zona Costeira (ZC) - localizada na zona costeira adjacente que se estende até a frente da pluma estuarina, delimitando a camada limite costeira, onde a salinidade observada coincide com a salinidade oceânica.

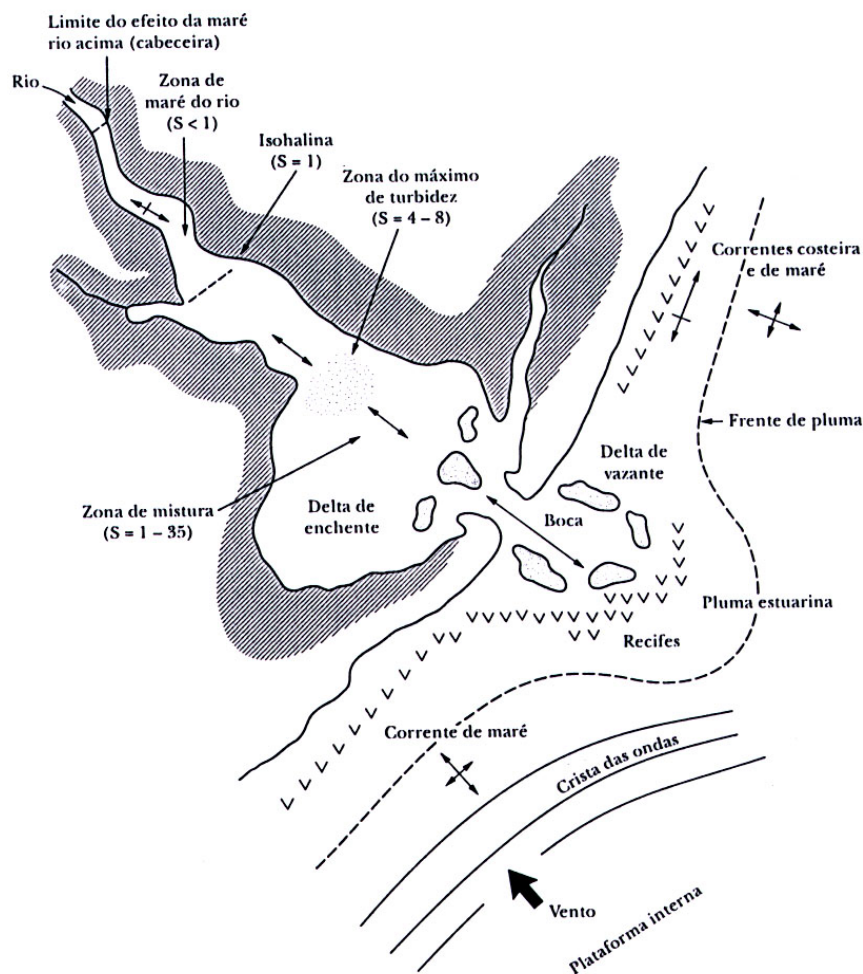


Figura 5 - Diagrama esquemático de um estuário hipotético e suas áreas de transição.

Comparando a definição de Kjerfve (1987) com as definições de Pritchard (1952) e ainda com as de outros autores, como Dionne (1963), observa-se que a ZR e a ZM correspondem aos setores denominados *estuário fluvial* e *médio* ou ao estuário de definição clássica, respectivamente. A inclusão da ZC procura abranger a influencia direta da zona estuarina na plataforma continental. Ressalta-se ainda que os limites entre estas zonas apresentadas são bastante dinâmicos, no tempo e no espaço, em resposta às diversas forças que atuam no sistema estuarino. Estas zonas podem migrar longitudinalmente ou simplesmente não serem observadas em determinado momento (Miranda *et al.* 2002). O estuário pode ainda ser subdividido em função do gradiente de salinidade, de acordo com o Sistema Venice (tabela 1).

Tabela 1 - Classificação da divisão estuarina (Elliott & McLusky, 2002)

Divisão	Presença da Maré	Salinidade	Sistema Venice (1958)
Rio	Não		
Cabeceira do estuário	Limite	< 0,5	Limnético
Área fluvial com maré dinâmica	Sim		
Superior	Sim	0,5 - 5	Oligohalino
Interno	Sim	5 – 8	Mesohalino
Meio	Sim	8 – 18	
Baixo	Sim	18 - 30	Polihalino
Embocadura	Sim	> 30	
Mar	Sim	30 - 40	Euhalino

2.2. Dinâmica estuarina

2.2.1. Descarga fluvial

A descarga fluvial é uma variável importante para que ocorram os processos físicos, químicos, biológicos e geológicos nos sistemas estuarinos. Neste tipo de sistema, variações na descarga de água doce influenciam os padrões de circulação e mistura, a diluição e a intrusão do sal, o transporte de sedimentos, nutrientes, poluentes, bem como a distribuição das comunidades biológicas (Perillo, 1995).

Apesar de sua grande importância, observa-se na literatura a ausência de uma análise adequada das descargas fluviais em estuários. Parte desta deficiência decorre do fato do escoamento superficial da água doce (runoff) ter um comportamento estocástico, de difícil mensuração no tempo e espaço (Kjerfve, 1996; Bonetti & Miranda, 1997). Além disso, séries temporais longas (difíceis de serem obtidas) são necessárias, de forma a permitir análises estatísticas mais confiáveis (Pekárová *et al.* 2003). Contudo, o enfoque do estudo hidrológico em bacias de drenagem sempre foi voltado para o gerenciamento da captação e geração de energia, abastecimento, consumo humano, irrigação e controle de enchentes por barragens, sendo assim excluído de projetos gerenciais o baixo curso fluvial e a zona estuarina.

Com a regulamentação da Lei Federal 9.433 de 1997, que instituiu o *Programa Nacional de Recursos Hídricos*, os ecossistemas que envolvem a zona costeira passaram a ser considerados nos programas de gerenciamento das bacias hidrográficas. Porém, desde então, pouca discussão ocorreu sobre a quantificação do volume necessário de água doce para promover a manutenção dos ambientes estuarinos.

Uma quantificação aproximada da entrada total de água doce no estuário pode ser feita, utilizando-se de séries históricas confiáveis de estações fluviométricas (dados medidos) existentes na porção mais a jusante de um rio, somando-se a estimativa da descarga potencial da área de drenagem sem monitoramento (Lima & Lessa, 2001), ou por meio de métodos empíricos (Miranda *et al.* 2002). Para esta estimativa deve-se levar em consideração as características hidrometeorológicas de cada bacia hidrográfica, como área de captação, precipitação, evapotranspiração e os tipos de solos.

Os estuários que tiverem seu fluxo controlado por barragens, necessitam de estudos detalhados sobre o comportamento hidrodinâmico e sedimentológico. Este estudo deve envolver, principalmente, as alterações na intensidade das descargas (sólida e líquida). As grandes vazões são capazes de remover o volume de sedimentos marinhos importados para a zona estuarina ou acumulados ao longo de anos de baixa descarga fluvial. A regularização das vazões máximas pode comprometer a função natural das grandes descargas, em ejetar sedimento para fora da zona estuarina. Estes eventos apresentam uma particular importância, podendo movimentar, em um curto período de tempo, uma carga sedimentar superior à verificada durante longos períodos em condições normais (Dyer, 1988). O efeito oposto, de atenuação dos picos da descarga fluvial, resultará em déficit de sedimento na zona costeira a longo prazo, permanecendo os sedimentos retidos à montante da barragem, ou ocorrer assoreamento da calha fluvial à jusante com a penetração de sedimento marinho.

Por outro lado, flutuações na taxa de pluviosidade no interior das bacias provocam redução ou aumento das descargas fluviais (Tucci, 1997). As flutuações podem ocorrer em intervalos sazonais ou interanuais em alternância aos períodos secos e úmidos. Porém, nas últimas décadas, flutuações de longo período de precipitação e descarga fluvial vêm sendo cada vez mais discutidas (IPCC, 2001; Marengo & Tomasella, 1998). Pekárová *et al.* (2003) demonstraram a existência destas flutuações nas descargas dos rios em todos os continentes nos últimos 20 a 30 anos. No Brasil, os trabalhos de Molion & Moraes (1987), Marengo & Tomasella (1998) e Genz *et al.* (2003) utilizaram dados de rios (precipitação e de cotas/vazões) para investigar a variabilidade interanual do clima, nas Regiões Amazônica e Nordeste. Atualmente, o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) vem realizando diversos estudos para verificar a existência de sinais de mudanças climáticas, com base nas observações hidrometeorológicas.

2.2.2. Dinâmica das marés

A propagação da onda de maré pode representar o maior mecanismo físico de circulação no ambiente estuarino. A penetração da maré tem um papel fundamental na renovação e mistura das massas d'água, na distribuição de sal, sedimentos e nutrientes dos estuários (Perillo, 1995).

As variações verticais da maré são causadas pela combinação da atração gravitacional do sistema Terra-Lua-Sol, com a rotação da Terra e, recebem influencia da morfologia da plataforma continental.

Segundo Hayes (1975), a depender da zonação latitudinal, a altura de maré pode variar de poucos centímetros a vários metros ao longo da costa, classificando-as em: micromaré (< 2 metros), mesomaré (2 e 4 metros), macromaré (4 e 6 metros) e hipermaré (> 6 metros). Altura excepcional da maré pode ser observada na Baía de Fundy (no golfo de Maine - EUA), onde esta pode variar em 16 metros. A altura da maré tem um papel fundamental nos ambientes estuarinos. Sua importância está relacionada ao volume de água marinha que entra (enchente) e sai (vazante) durante um ciclo completo de maré, denominado prisma de maré. Nos estuários de micromaré, o volume de água do mar em circulação será bem menor que nos estuários de macro e hipermaré.

Em águas rasas (particularmente em estuários), as marés podem ser amplificadas ou amortecidas a depender da morfologia estuarina (geometria, batimetria e extensão da planície de inundação). O corpo estuarino controla a propagação da maré e os campos de velocidade. Neste caso, a convergência das margens do estuário faz com que a onda de maré seja comprimida lateralmente e, sob condições de moderado atrito, a conservação de energia ocasiona o aumento significativo da altura de maré. O maior atrito relativo a convergência lateral causa um decréscimo da altura de maré (Perillo, 1995). Associado à amplificação ou amortecimento da onda de maré pode ocorrer a deformação da onda, gerando tempos de enchente e vazante desiguais. Normalmente, em estuários com pouca influência fluvial, tempos de subida da maré são curtos e associados a correntes de enchente mais fortes (Lessa *et al.* 2001), resultando na importação de sedimento para o interior do estuário.

Por outro lado, fatores meteorológicos e ou hidrológicos (descarga fluvial, a ação das ondas, as variações da pressão atmosférica e no campo de ventos) podem causar interferência no comportamento da maré, causando elevação (*set up*) ou rebaixamento (*set down*) do nível médio do estuário durante dias a semanas (Restrepo & Kjerfve, 2002).

2.2.3. Padrões de circulação e mistura

A circulação das águas de um estuário depende diretamente das condições hidrodinâmicas gerada pela combinação ou predominância da descarga de água doce, propagação da onda de maré e pela influencia do vento (Dyer, 1995; Geyer, 1997). Estas forçantes condicionam a extensão e a posição das ZR, ZM e ZC.

Via de regra, os padrões de circulação e mistura estuarina estão estreitamente relacionados, tendo influência tanto nos sentidos vertical e longitudinal (Dyer, 1995). Uma classificação baseada nos padrões de variação de salinidade foi introduzida por Pritchard (1952), subdividindo os estuários como:

de cunha salina – este padrão é característico de estuários dominados pela ação fluvial. A água doce que chega ao sistema, em função de sua menor densidade, tende a se manter na superfície, movendo-se em direção ao oceano. Ao contrário, a água de origem marinha possui maior densidade, penetrando no interior do estuário pelo fundo, apresentando uma diferença acentuada no perfil vertical de salinidade (Figura 6a);

parcialmente misturado ou parcialmente estratificado: quando as forçantes fluvial e de maré são comparáveis, onde o aumento de salinidade se dá de maneira gradativa tanto na vertical quanto na horizontal (Figura 6b). Normalmente, a zona de turbidez máxima é associada a este tipo de estuário;

verticalmente homogêneo ou bem misturado: quando dominado pela ação das marés. Neste caso, o perfil vertical de salinidade é homogêneo, ou seja, a salinidade das águas superficiais é igual à de fundo, observando apenas o gradiente longitudinal (Figura 6c).

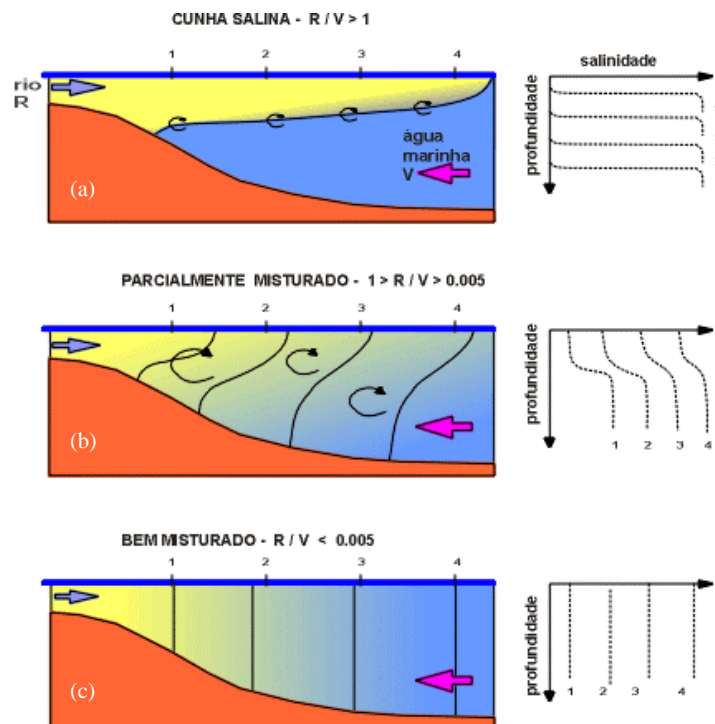


Figura 6 - Modelo dos padrões de mistura estuarina, (Pritchard, 1952). a) tipo cunha salina, b) parcialmente misturado ou parcialmente estratificado e em c) verticalmente homogêneo ou bem misturado.

Hansen & Rattray (1966) propuseram uma classificação baseada no diagrama de circulação-estratificação adimensional. O parâmetro de estratificação é simplesmente a proporção entre a diferença de salinidade entre a superfície e o fundo pela salinidade média na coluna d'água. O parâmetro de circulação baseia-se na relação entre a velocidade média na superfície, que é uma medida do poder da circulação vertical, e a velocidade média da vazão fluvial. Nesse diagrama, os estuários podem ser agrupados em quatro classes distintas:

classe 1 – característico em estuários barrados por restingas. Subdivide-se na classe verticalmente misturado (1a) e bem misturado (1b). Em ambos não ocorre circulação gravitacional;

classe 2 - abrange estuários de planícies costeiras e estuários parcialmente misturados. Este tipo é dividido em fracamente estratificado (2a) e parcialmente misturado (2b). Esta classe é caracterizada por uma razoavelmente bem desenvolvida circulação gravitacional e mistura longitudinal;

classe 3 - dominados pelo processo de mistura de moderada a forte estratificação, sendo classificado como pobremente estratificado (3a) e altamente estratificado (3b) caracterizada por circulação gravitacional.

classe 4 - coincidem com o tipo cunha salina, da classificação de Pritchard (1952), ou seja, sistemas fortemente estratificados. A mistura vertical é limitada e a circulação gravitacional é pobre ou inexistente.

Um fator importante na dinâmica estuarina, associado a cada padrão de circulação, está relacionado à direção predominante do fluxo (corrente residual). Neste caso, as correntes residuais podem ser provenientes de dois tipos principais de circulação (Dyer, 1995), sendo eles:

circulação gravitacional – circulação clássica em um estuário, com movimento resultante da circulação bidirecional em duas camadas, ocasionado pela diferença de densidade, entre a água doce do rio e a água do mar, formando um gradiente vertical e longitudinal de salinidade. O importante no processo é observar as velocidades residuais da corrente, pois estas condicionam a direção preferencial do transporte dos sedimentos. Geralmente, na superfície são em direção ao oceano, enquanto que as velocidades residuais no fundo ocorrem em direção ao continente (Figura 7a) (Schoelhamer, 1996; Dyer, 1995);

bombeamento da maré - “tidal pumping” - movimento governado por marés de sizígia, na qual mantém a coluna d'água bem misturada. Caso não ocorra contribuição fluvial, será a assimetria gerada entre os estágios de enchente e vazante da maré que dará o sentido predominante do fluxo. (Figura 7b) (Schoelhamer, 1996; Dyer, 1995). Em caso da descarga fluvial sobrepujar o efeito da maré, não permitindo correntes de enchente, o rio bombeará água para fora do estuário.

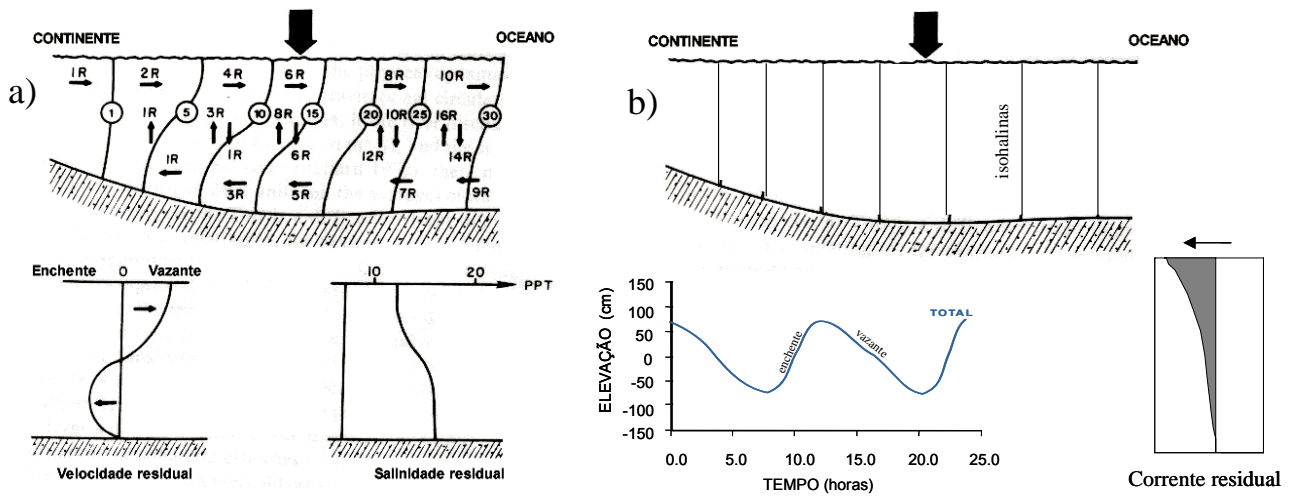


Figura 7 - Principais Modelos de circulação estuarina. Em (a), observa-se o modelo um estuário parcialmente misturado governado por circulação gravitacional, onde a seta larga indica um perfil vertical médio da coluna d'água, com a predominância das correntes residuais de velocidade e salinidade. Em (b), observa-se o modelo de estuário bem misturado, onde ocorre o bombeamento da maré, ocasionado pela assimetria da maré e, conseqüentemente correntes residuais no sentido do fluxo dominante (adaptado de Dyer, 1995).

Atualmente, atenção especial tem sido dada aos padrões de circulação e mistura nos estuários, principalmente, devido ao aumento da descarga de substâncias tóxicas lançadas no meio, entre elas fertilizantes, rejeitos industriais, esgotos domésticos, hidrocarbonetos, além de mercúrio, zinco, chumbo e outros metais pesados (Mcanally & Mehta, 2001). Estas substâncias podem ser encontradas diluídas na água, agregadas no substrato superficial ou transportadas sob a forma de pluma em suspensão (Schoellhamer, 1996). O entendimento da hidrodinâmica no estuário é essencial para o conhecimento do destino final dos poluentes. Desta forma, faz-se necessário o monitoramento de vários processos, dentre eles, aqueles relacionados aos aspectos geológicos, físicos, químicos e ao manejo da qualidade da água nos ambientes estuarinos (Fernandes, 2001). Vale ressaltar que, os estuários apresentam diferenças em sua morfologia (batimetria e geometria), no regime de marés e de descarga fluvial, além de outros fatores como o vento e as ondas, que influenciam na hidrodinâmica do ambiente.

2.2.4. Distribuição espacial de sedimentos de fundo

Do ponto de vista geológico, os estuários funcionam como armadilhas de sedimentos fluviais e marinhos (Perillo, 1995). A função natural deste ambiente é atuar como verdadeiros filtros, retendo o sedimento grosso e ejetando parcialmente os sedimentos finos. Os processos sedimentológicos envolvem ciclos de baixa e alta frequência que variam de segundos a anos, regidos pela ação das marés, ondas, vento, o regime fluvial e a variabilidade climática (Schoellhamer, 2002; Uncles, 1994). Na costa brasileira, devido à queda do nível médio do mar no Holoceno, os estuários ainda existentes apresentam bacias de sedimentação de reduzidas dimensões. Exceções são feitas às baías com forte controle tectônico, como a Baía de Todos os Santos, Paranaguá, Camamú, onde uma drenagem fluvial, relativamente pequena, um grande espaço de acomodação permite que grandes estuários ainda existam (Miranda *et al.* 2002).

A maior quantidade de sedimentos que chega nos estuários é trazida pelos rios, e este volume depende, diretamente, da extensão e das características climáticas da bacia hidrográfica (Fernandes, 2001). A depender da intensidade da descarga líquida, pouca sedimentação do material particulado em suspensão deve ocorrer no interior do estuário. Os episódios de alta energia (enchentes) apresentam particular importância, pois podem movimentar, em um curto período de tempo, uma carga sedimentar superior à verificada durante longos períodos em condições normais (Mantovanelli, 1999).

Além da descarga fluvial, os dois outros agentes de controle dos processos sedimentológicos são as correntes de maré e a ação das ondas (Perillo, 1995). Estas últimas atuam apenas na proximidade da desembocadura, transportando os sedimentos da antepraia para frente dos estuários, onde estes são então mobilizados pelas correntes de maré (Wolanski *et al.* 1996).

Os modelos de fácies sedimentares estuarinas existentes na literatura (Dalrymple *et al.* 1992) subdividem o estuário em três zonas (Figura 8), sendo elas:

Zona externa – de domínio marinho, com ação das ondas junto à embocadura, alta energia das correntes de maré e a baixa atuação da corrente fluvial, ocorrendo a deposição de uma fácies de sedimentos de granulação grossa.

Zona central – onde há a atenuação da energia total (rio, ondas e maré), de montante e jusante para a porção central do estuário, sendo depositados a fácies de sedimentos mais finos. Nesta área podem ser encontrados sedimentos de origem fluvial e marinho;

Zona interna – de domínio fluvial, onde se observa uma região de energia mínima da ação das marés para montante, com textura sedimentar novamente grossa.

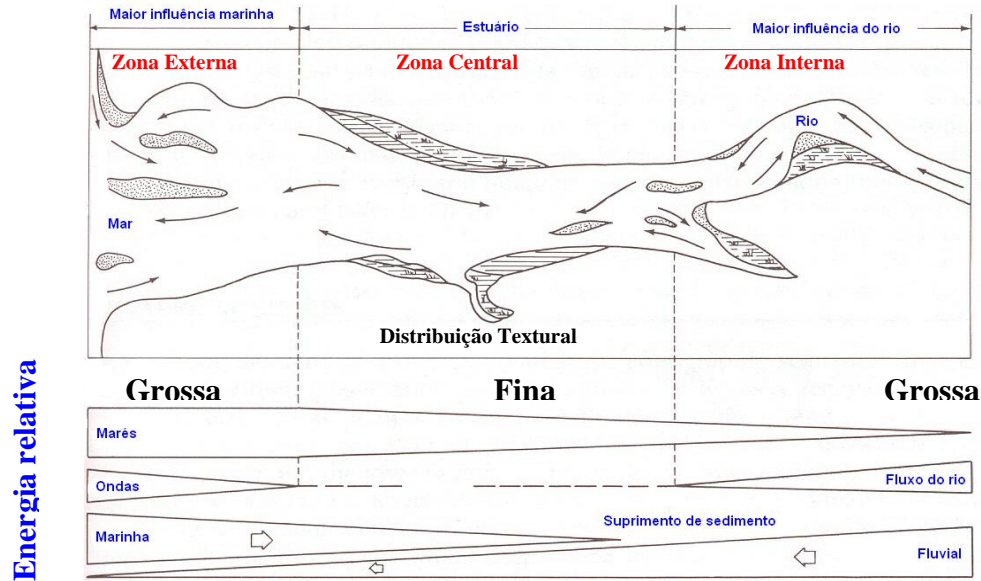


Figura 8 - Modelo de distribuição de fácies estuarina em função da energia hidrodinâmica (adaptado de Davis, 1991; Dalrymple *et al.* 1992).

A composição mineralógica dos sedimentos estuarinos é constituída por frações de sedimentos siliciclástico (origem fluvial), carbonático (origem marinha) e materiais orgânicos (McAnally & Mehta, 2001), sendo que este último inclui detritos animais, vegetais e bactérias. A combinação entre o diâmetro da partícula e densidade de cada mineral é responsável pela maior ou menor mobilidade durante o transporte em suspensão (Dyer & Manning, 1999).

2.2.5. Dinâmica dos sedimentos finos

A circulação de sedimentos em suspensão no estuário possui um comportamento cíclico. (Fernandes, 2001). O transporte de material sólido na coluna d'água pode ser feito como carga de fundo ou em suspensão, dependendo do tamanho do sólido e das condições de fluxo. As partículas de sedimento em finos ($< 63 \mu\text{m}$) entram no estuário por advecção (transporte da partícula pela movimentação da massa d'água) ou difusão (gradiente de densidade).

Ciclos de baixa e alta frequência, variando de segundos a anos e regidos pela ação das marés, ondas, vento e regime fluvial (Schoellhamer, 2002; Uncles *et al.* 1994) influenciam no ciclo de deposição e ressuspensão dos sedimentos nos estuários. A área de maior concentração de sedimento em suspensão no estuário, em um perfil longitudinal, denomina-se Zona de Turbidez Máxima – ZTM. Turbidez é a condição de um corpo líquido que, pela presença de sedimentos finos em suspensão impede a passagem da luz. A aparência túrbida da água é decorrente de

pequenas partículas de silte ou argila. Na ZTM é observada uma concentração de sedimentos em suspensão que pode ser cerca de 100 vezes superior às regiões à montante e à jusante. Essa zona pode ser encontrada em estuários de variados tamanhos, formas e submetidos a distintas alturas de marés, como nos estuários de mesomaré de Winyah Bay e Rio Hudson (costa leste dos Estados Unidos), e macro-maré como o Rio Columbia (costa oeste dos Estados Unidos) e o Rio Gironde (França). Na ZTM, um grande volume de sedimentos em suspensão pode ficar retido dentro do corpo estuarino e passar por várias etapas antes da deposição final (Burchard & Baumert, 1998).

Existe uma ampla discussão na literatura sobre os fatores hidrossedimentológicos responsáveis pelo balanço de sedimentos e no comportamento da ZTM. Alguns autores concordam para que o efeito da circulação gravitacional carreie, preferencialmente, os sedimentos finos na direção de jusante para montante no estágio de enchente, e na a direção oposta durante a maré vazante.

Parte da carga de sedimento trazido pelos rios e a parte que se encontra disponível no fundo apresentam fundamental importância na manutenção da zona de turbidez máxima. Com a presença de correntes mais fortes, os sedimentos de granulação mais grossa são arrastados e a depender da intensidade pode ocorrer saltação das partículas no sentido da corrente. Cessada a intensidade da energia hidrodinâmica, os sedimentos podem ser novamente depositados no fundo e assim sucessivamente (Burchard & Baumert, 1998).

Segundo Schoelhamer (2001) e Uncles *et al.* (1994), a velocidade de corrente na maré de sizígia é a principal responsável pela ressuspensão do sedimento fino inconsolidado no fundo do estuário. Este pode mover-se livremente ao longo do ciclo de maré intensa. Contudo, aproximando-se do período de quadratura, ocorre redução da velocidade de corrente, e, uma grande concentração de sedimento em suspensão pode ser consolidada, em uma camada próxima ao fundo (lutoclina). Neste caso, a lama pode se tornar parte permanente no fundo, até o próximo ciclo de sizígia (Perillo, 1995).

Outros trabalhos atribuem a formação da ZTM ao processo de floculação, que é um fenômeno comum em sedimentos pelíticos (silte e argila) que consiste na agregação das partículas menores para formar partículas maiores (flocos), aumentando em consequência a sua velocidade de decantação (Wolanski *et al.* 1996). Este fenômeno ocorre, quando as partículas de argilominerais em meio fluvial são lançadas em ambiente marinho (Thill *et al.* 2001).

3.

MATERIAIS E MÉTODOS

... **E**stuário, um berçário da vida ...

(O autor – setembro de 2001)

3.1. Análise hidrológica do Rio Jacuípe

Ao longo do Rio Jacuípe, as quatro estações fluviométricas que estiveram em operação entre o período de 1955 a 1999 foram avaliadas, sendo elas: S. S. do Passé, Amado Bahia, Mata de São João e Emboacica. Foram ainda analisados os dados das demais estações fluviométricas das bacias hidrográficas do LNEB, para comparação com o Rio Jacuípe (Tabela 2 – Figura 9).

A descarga fluvial e a precipitação foram as variáveis hidrológicas avaliadas neste trabalho. As médias (Tabela 2) referem-se ao período do ano civil (janeiro/dezembro). Os dados hidrológicos foram obtidos no Sistema de Informações Hidrológicas (SIH), da Agência Nacional das Águas (ANA) e as estações fluviométricas utilizadas nas análises foram aquelas localizadas na porção mais a jusante dos rios, dispondo-se de séries históricas de cotas (*h*), vazões (*Q*) e resumos de descargas. As séries históricas de cotas e vazões são constituídas de valores discretos médios diários, obtidos pelos registros de descargas mínimas e máximas realizados as 9:00 h e 17:00 h.

Tabela 2 - Estações fluviométrica e pluviométrica do Litoral Norte do Estado da Bahia.

Cód SIH	Estação/Rio	Tipo	Área (Km²)	Início	Fim	Extensão (anos)
50890000	Emboacica/Jacuípe	Fluviométrica	905	1961	1979	18
50850000	A. Bahia/Jacuípe	Fluviométrica	460	1963	1971	8
50840000	M. S. João/Jacuípe	Fluviométrica	440	1955	1999	44
50820000	S. S. Passe/Jacuípe	Fluviométrica	275	1955	1999	44
50795000	Tiririca/Pojuca	Fluviométrica	4860	1961	1999	38
50690000	Cambuís/Subaúma	Fluviométrica	1040	1967	1999	32
50660000	Corte Grande/Inhambupe	Fluviométrica	4140	1967	1999	32
50595000	Altamira/Itapicuru	Fluviométrica	35150	1964	1999	30
50290000	Itanhi/Real	Fluviométrica	4320	1967	1999	32
01238046	Emboacica/Jacuípe	Pluviométrica	-	1969	2004	35

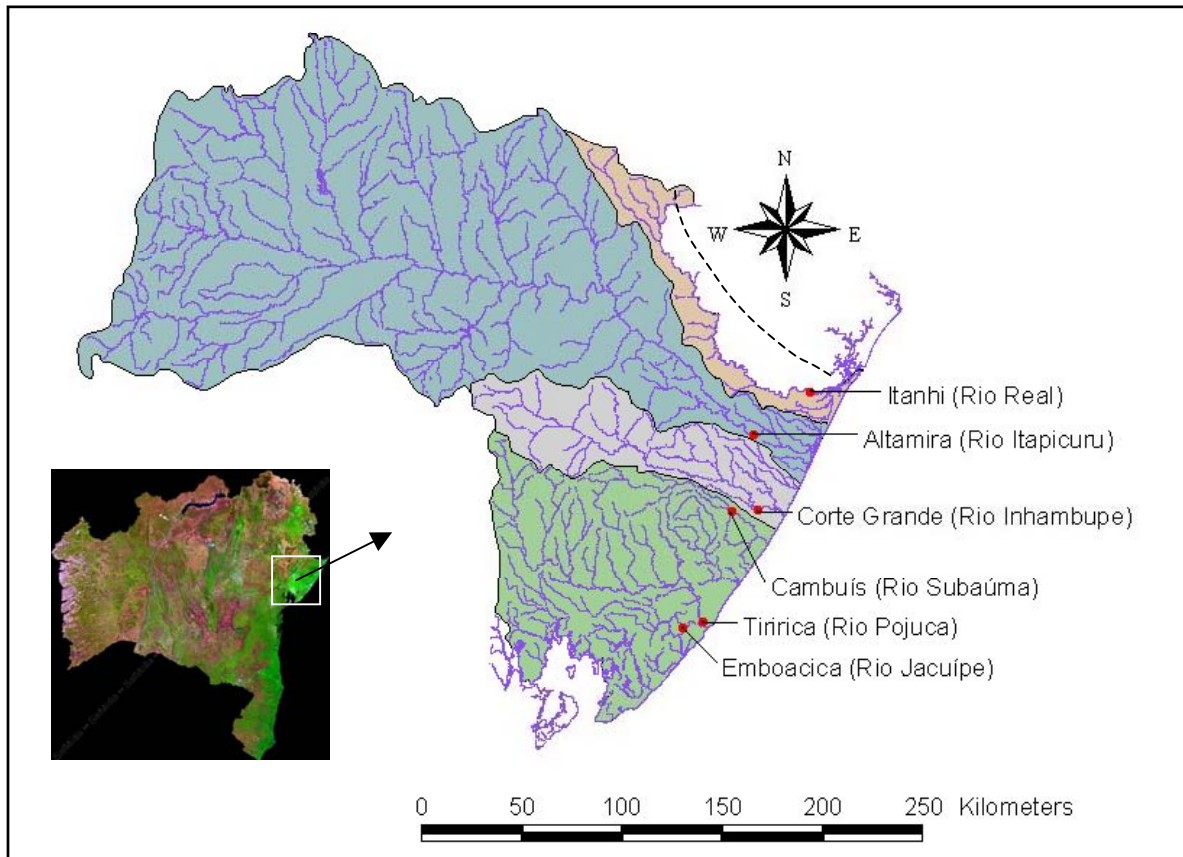


Figura 9 - Localização das estações fluviométricas (mais a jusante) dos principais rios do litoral norte do Estado da Bahia; a linha tracejada, refere-se a área do Rio Real pertencente ao Estado de Sergipe (adaptado de SRH, 2003).

3.1.1. Análise de consistência dos dados

A qualidade dos dados de vazão das diferentes estações foi verificada a partir dos valores máximos e mínimos da relação cota/vazão (H/Q), segundo o método de regionalização de vazões (IPH, 1983, In: Tucci 1997). O método propõe que seja feita a relação entre a maior cota observada na série histórica e a maior cota com vazão medida na curva de descarga. A mesma relação deve ser considerada para os dados de vazões. Neste sentido, uma estação pode ser classificada de cinco formas: A, B, C, D e E (Tabelas 3 e 4). As estações que obtiveram classificação como D e E foram submetidas à correção da curva-chave e de suas vazões.

Tabela 3 - Classificação das estações fluviométricas - vazão máxima (Tucci, 1997).

GRAU	CARACTERÍSTICAS	H	Q
A	Postos fluviométricos de características excelentes cujas descargas estão dentro de 10 a 15% do valor máximo de cheia observada, com uma boa seção transversal para a extrapolação, sem transbordamento nas margens.	≤ 1,15	≤ 1,15
B	Postos bons, com extrapolação da curva de descarga menor que 50% do valor medido de vazão e seções transversais boas, sem transbordamentos.	≤ 1,25	≤ 1,50
C	Postos aceitáveis com extrapolação adequada da curva de descarga e com eventuais transbordamentos.	≤ 1,75	≤ 2,50
D	Postos geralmente inaceitáveis pela grande extrapolação da curva de descarga e transbordamento excessivo na seção.	> 2,00	> 3,00
E	Postos com extrapolação inadequada da curva de descarga. Não são considerados no estudo.	--	--

Tabela 4 - Classificação das estações fluviométricas - vazão mínima (Tucci, 1997).

GRAU	CARACTERÍSTICAS
A	Pouca ou nenhuma extrapolação inferior da curva-chave (≤ 50cm); Existência de uma única curva-chave na parte baixa, demonstrando estabilidade da seção de medição, especialmente do fundo. Boa cobertura de medições de vazão na parte inferior da curva.
B	Extrapolação de alguma importância (entre 50cm e 1m). Algumas alterações do talvegue e do fundo, sem migrações marcantes. Alguma dispersão dos valores de vazão na parte inferior da curva-chave. Oscilações da área da seção de escoamento.
C	Extrapolação grande da curva-chave (>1,00m). Alterações de importância no fundo do rio e modificações do talvegue, sem se constituírem em mudanças radicais. Dispersão nos valores de vazão. Existência de duas ou mais curvas-chave na parte inferior, embora definidas. Aceitável para regionalização, com algumas restrições.
D	Grandes extrapolações da curva-chave (>1,20m). Alteração total do talvegue e do fundo do rio. Grandes incoerências nas variações da área de escoamento, denotando excessiva dispersão das vazões. Inaceitável para regionalização.

3.1.2. Vazão natural

As descargas do Rio Jacuípe foram caracterizadas quanto a seu valor e regime sazonal. A série histórica da estação Emboacica compreende o intervalo entre 1961 a 1979 (Tabela 2). Esta estação localiza-se na porção mais a jusante do Rio Jacuípe, drenando uma área 905 Km², o que corresponde a 70% da total da bacia.

Para a análise estatística foram calculadas as médias dos dados mensais e anuais de precipitação e das vazões, bem como a curva de permanência (relaciona os valores possíveis de uma variável aleatória à frequência de ocorrência de eventos específicos a eles associados) e a medida da dispersão da distribuição de frequência (desvio padrão), observando-se o comportamento do regime hidrológico do rio (modelo padrão de distribuição sazonal das vazões). Posteriormente, filtros de baixa frequência, utilizando-se médias móveis progressivas foram aplicados às séries de forma a investigar as tendências da vazão de longo prazo.

3.1.3. Vazão modificada

Para determinar a vazão da BSH, utilizou-se o método de descarregamento em orifícios (USBR, 1966 *apud*: Arauz, 2005). Este método é apropriado para barramentos, cuja descarga apresente abertura em grandes orifícios, sendo que a extrapolação da curva-chave pode se ajustar aos intervalos de menor abertura das comportas, como é o caso desta barragem.

Os dados da abertura das comportas (horários e diários), do nível do reservatório, bem como as dimensões da estrutura da barragem foram fornecidos pela EMBASA (atual operadora). A barragem é composta por 3 comportas tipo Setor (Figuras 2 e 3), com vertedores retangulares de Perfil Creager, elevação da soleira do vertedor (8 m) e a largura líquida da soleira do vertedor (20,9 m). A série de dados de vazão analisada compreendeu o intervalo entre 2001 a 2005, sendo que o período inicial da série abrange a etapa de enchimento do reservatório.

O cálculo das vazões da BSH (Q) foi estabelecido com a curva de descarga (Figura 10), resultado da relação do coeficiente de descarga (C_d) e da função a/H_1 (USBR, 1966 in: Arauz, 2005), dada pela equação:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot L \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot (H_1^{3/2} - H_2^{3/2})$$

onde, C_d = Coeficiente de descarga (obtido empiricamente em função da carga e dimensões do orifício), L = Largura do orifício (6,97 m) correspondente à largura líquida do vertedor dividido por três, g = gravidade ($9,8 \text{ m s}^{-2}$). O coeficiente de descarga (C_d) foi obtido pela equação:

$$C_d = -4.0211 \cdot \left(\frac{a}{H_1}\right)^5 + 8.9104 \cdot \left(\frac{a}{H_1}\right)^4 - 7.4396 \cdot \left(\frac{a}{H_1}\right)^3 + 2.8974 \cdot \left(\frac{a}{H_1}\right)^2 - 0.6303 \cdot \left(\frac{a}{H_1}\right) + 0.7547$$

e,

$$\frac{a}{H_1} = \frac{(a \div 100)}{(NA - 8m)}$$

onde, H_1 = carga sobre a elevação superior do orifício ($NA - 8 \text{ m}$), sendo NA o nível da água no reservatório e H_2 = carga sobre a elevação inferior do orifício ($H_2 = H_1 - a$), onde "a" é a altura da abertura da comporta (m).

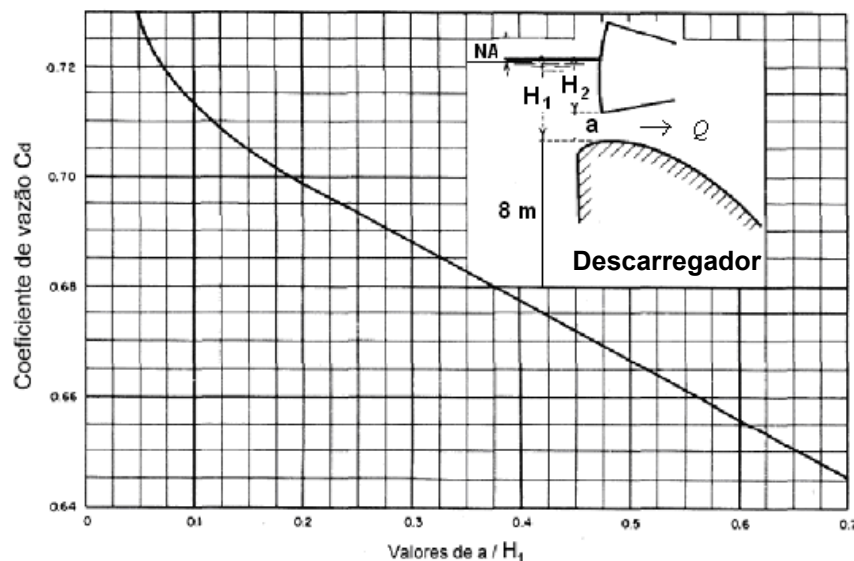


Figura 10 - Coeficiente de descarga (C_d) em função da relação a/H_1 estabelecido para a Barragem Santa Helena.

3.1.4. Descarga fluvial total

A entrada de água doce total para o estuário foi inicialmente estimada através da estação fluviométrica de Emboacica (Figura 11), localizada a 27 quilômetros da embocadura. Esta estação monitorava, até 1979, a vazão correspondente a 70% da área total da bacia, com dados disponíveis entre 1961 e 1979 (Tabela 1).

Para a estimativa da vazão total (Q), incorporando a vazão da área à jusante (Q_2) de Emboacica, utilizou-se de o método empírico de estimativa de descarga, conhecido como método de Schreiber (Miranda *et al.* 2002). Este método foi escolhido pelo forte gradiente de precipitação, observado na área à jusante de Emboacica e, em segundo plano, por considerar os demais dados hidrometeorológicos (evapotranspiração potencial, temperatura e área de captação). A descarga líquida é obtida através da equação (Miranda *et al.* 2002):

$$\frac{\Delta f}{P} = \exp\left(-\frac{E_v}{P}\right),$$

onde, $\Delta f/P$ = fração adimensional da taxa de escoamento superficial e parcela da taxa de precipitação, E_v e P indicam as médias da evapotranspiração potencial e precipitação (mm), respectivamente. A evapotranspiração potencial (E_v) é estimada pelo método de Thornthwaite (Tucci, 1998), por meio da equação:

$$E_v = 16 \cdot F_c \left(10 \frac{T}{1}\right)^a$$

onde, E_v é a evapotranspiração potencial para meses de 30 dias e insolação de 12 horas (mm/mês), T é a temperatura ($^{\circ}$ C) e F_c é o fator de correção em função da latitude e meses do ano. O coeficiente “a” é calculado a partir da expressão:

$$a = 67,5 \cdot 10^{-8} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 0,0179 \cdot I + 0,492$$

e,

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{t_i}{5}\right)^{1,514}$$

onde t_i é a temperatura média do mês i .

Devido à inexistência de postos meteorológicos próximos da bacia, a temperatura será considerada a mesma para todas as subáreas. Neste caso, serão utilizados os dados da Estação Meteorológica de Ondina (em Salvador), localizada aproximadamente a 50 Km de distância da área de estudo.

A descarga (em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) é então calculada pelo produto da razão de escoamento superficial ($\Delta f/P$), da taxa de precipitação e da área (PA_T), dada pela seguinte equação:

$$Q_2 = \frac{\Delta f}{P} PA_T = \Delta f A_T$$

Para obter os valores médios mensais de Q foram somadas as descargas de Q_1 (Emboacica) a área jusante adjacente (Q_2). Esta foi subdividida em quatro (A_1 , A_2 , A_3 , e A_4), limitadas por isoietas anuais espaçadas em 100 mm (Tabela 5/ Figura 11). As taxas de precipitação mensais foram obtidas a partir da relação entre precipitação média mensal e a média anual (estação pluviométrica de Emboacica), multiplicada pela precipitação total de cada subárea (observada nas isoietas).

A média mensal dos dados de precipitação (P), evapotranspiração (Ev) e temperatura (T) utilizada na estimativa da vazão da área a jusante de Emboacica encontra-se listada na Figura 12.

Tabela 5 - Relação Área/Pluviosidade do setor a jusante da estação de Emboacica.

Setor	Área (km^2)	Pluviosidade média anual (mm)
A_1	195	1950
A_2	68	1850
A_3	70	1750
A_4	32	1650
	365	Média = 1800

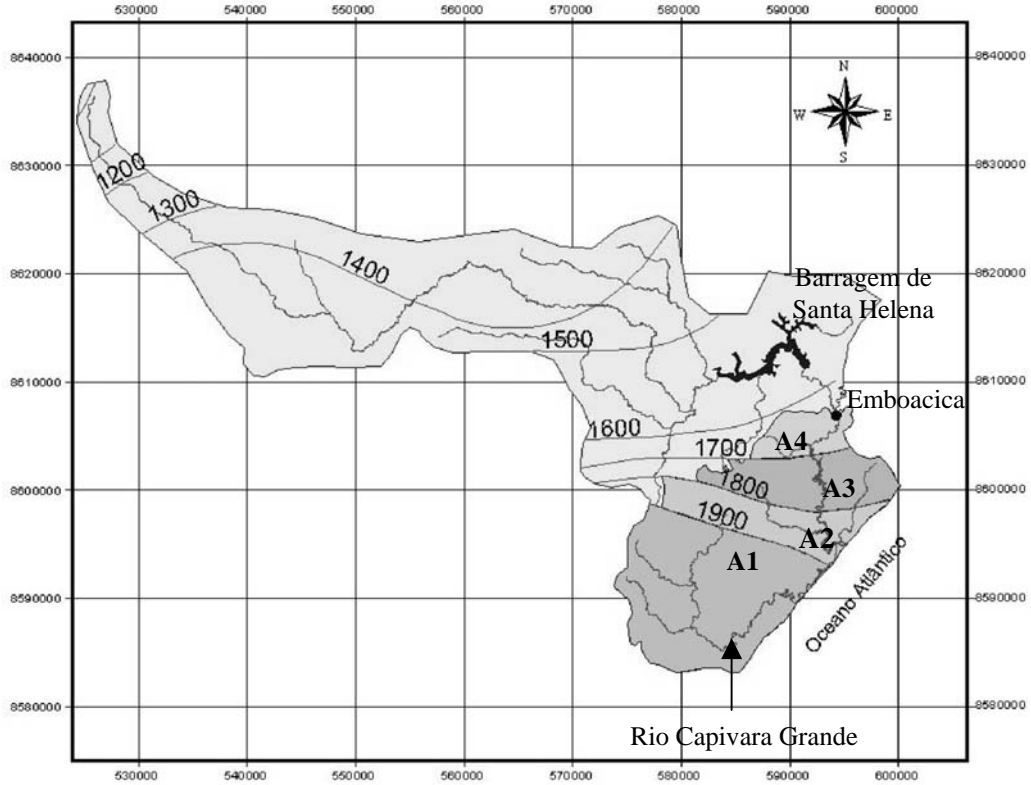


Figura 11 - Bacia hidrográfica do Rio Jacuípe, com a distribuição das isoietas anuais (adaptado de SRH, 2003), onde A₁, A₂, A₃ e A₄ correspondem a cada área de mesmo índice pluviométrico; em segundo plano a localização da Barragem de Santa Helena, da estação fluviométrica e pluviométrica de Emboacica (•).

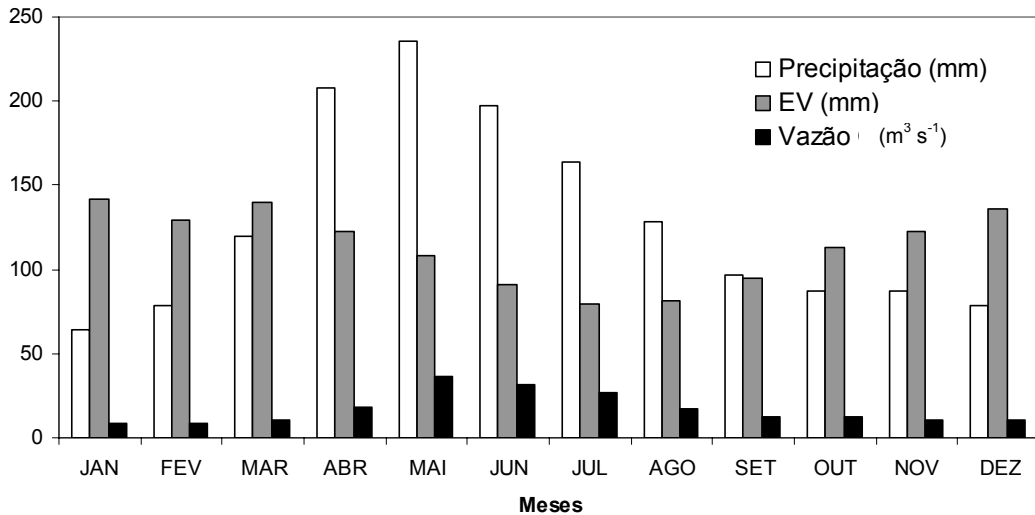


Figura 12 - Dados hidrometeorológicos médios mensais da bacia do Rio Jacuípe (precipitação e vazão média em Emboacica e evapotranspiração potencial – EV) utilizados para estimar a vazão total para o estuário.

3.1.5. Análise hidrológica das demais bacias do Litoral Norte

As estações fluviométricas escolhidas foram àquelas localizadas mais a jusante do rio, bem como análise de consistência e estatísticas conforme metodologias estabelecidas para o Rio Jacuípe. Os dados do comportamento hidrológico das descargas fluviais (próximas à zona costeira), apresentados a seguir, têm efeito análogo entre a ciclicidade dos eventos sazonais e interanuais, da bacia do Rio Jacuípe com as demais bacias do LNEB.

4.1.5.1. Análise de consistência

As estações Cambuís (Rio Subaúma) e Itanhi (Rio Real), todas tiveram classificação “C”, que são postos aceitáveis com extrapolação adequada da curva de descarga e com eventuais transbordamentos. A baixa qualidade das extrapolações das vazões máximas nas demais estações ocorre ou pela falta de medições durante eventos de cheia, ou por valores incoerentes encontrados isoladamente na série histórica. As estações classificadas como D e E foram submetidas a uma reavaliação da curva-chave para verificação de erros e possibilidades de correção.

A estação Corte Grande (Rio Inhambupe) foi classificada como “D”, que são postos geralmente inaceitáveis pela grande extrapolação da curva de descarga (Tabela 6). A estação Tiririca (Rio Pojuca) apresentou conformidade apenas no período de 1994 a 1998, porém os dois demais períodos entre 1961 a 1993, que correspondem ao maior intervalo da série foram desaprovados. O mesmo ocorre para a estação Altamira (Rio Itapicuru), onde um período de 15 anos de dados foi admissível (1964 a 1979). Entretanto, o segundo intervalo também de 15 anos ficou comprometido (1985 a 1999). Ambas as estações foram classificadas como “E”, sendo postos com extrapolação inadequada da curva de descarga.

Tabela 6 – Classificação primária das estações fluviométricas do LNEB quanto à qualidade dos dados, segundo o método de regionalização de vazões (Tucci, 1997).

Período	Estações	Máximas		Mínimas	Classificação (Max)	Classificação (Min)
		Vazão M/O*	Cota M/O*	Cota M/O*		
1961 a 84	Tiririca	141/1138	318/595	4,4/2,2	E	A
1985 a 93		88/294	228/596	8,5 / 7,3	E	
1994 a 98		95/187	448/598	3,4 / 3,8	C	
1965 a 95	Cambuís	41/98	269/470	44 / 38	C	A
1966 a 99	Corte Grande	95/290	424/688	83 / 66	D	A
1964 a 79	Altamira	482/1001	1021/1176	2,5 / 2,0	C	A
1985 a 99		98/518	655/1080	2,8 / 1,6	E	A
1965 a 99	Itanhi	274/663	275/475	50 / 50	C	A

* M = Medido e O = Observado, valores de vazão ($m^3 s^{-1}$) e de cotas (cm).

Para o melhor ajuste da estação Corte Grande, a curva-chave foi seccionada entre as cotas < 200 e > 200 cm (Figura 13a e 13b). No primeiro intervalo (cotas baixas), utilizou-se uma equação linear, com coeficiente de correlação de 0,92. O segundo intervalo (cotas altas), empregou-se uma equação potencial, cuja razão foi de 0,97. Os valores entre estas cotas foram integrados para que ocorresse a continuidade da série. Desta forma, após estes procedimentos, a estação Corte Grande passou a ter qualidade “C” (Tabela 6).

A correção da curva-chave da estação Tiririca melhorou a classificação em ambos os intervalos. No primeiro período (1961 a 1984), utilizou-se uma equação polinomial de 3ª ordem, com coeficiente de correlação de 0,99 (Figura 14a). A reclassificação deste intervalo passou a ser “C” (Tabela 7), adequando-se aos critérios estabelecidos. Das equações testadas entre o intervalo de 1985 a 1993, a equação linear apresentou melhor ajuste aos dados, com coeficiente de correlação de 0,95 (Figura 14b), passando também a ter a classificação de “C” (Tabela 7). Não foi possível corrigir a curva-chave da estação de Altamira (1985 a 1999), devido ao insuficiente número de vazões elevadas. A cota máxima observada nesta estação (655 cm) é bastante inferior à registrada na série histórica (1080 cm). Desta forma, os dados da estação Altamira, utilizados neste trabalho correspondem apenas ao período de 1964 a 1979.

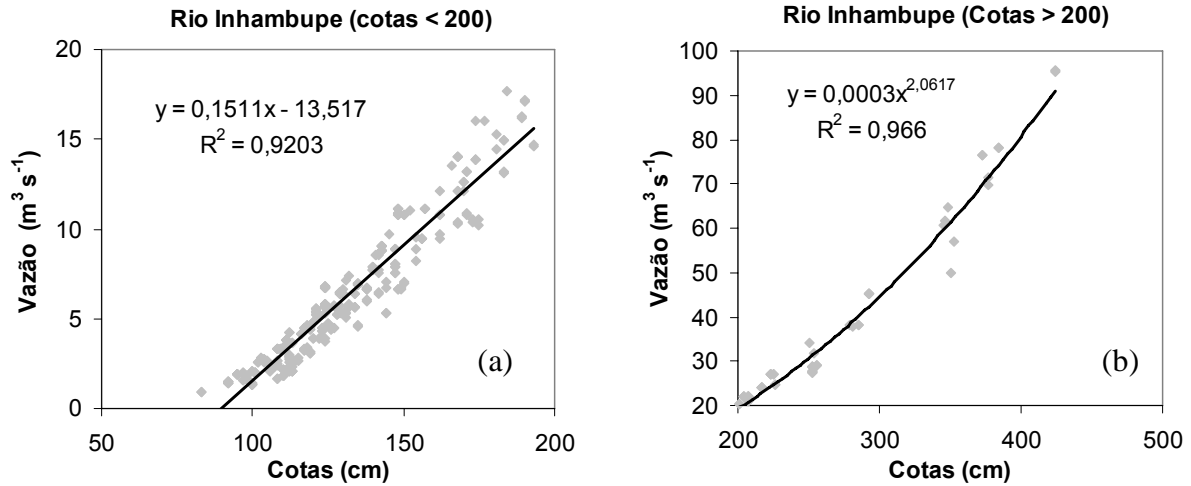


Figura 13 - Curvas-chave estabelecidas para a estação fluviométrica de Corte Grande (Rio Inhambupe) para as cotas < 200 (a) e as cotas > 200 (b) válidas para o período de 1967 a 1999.

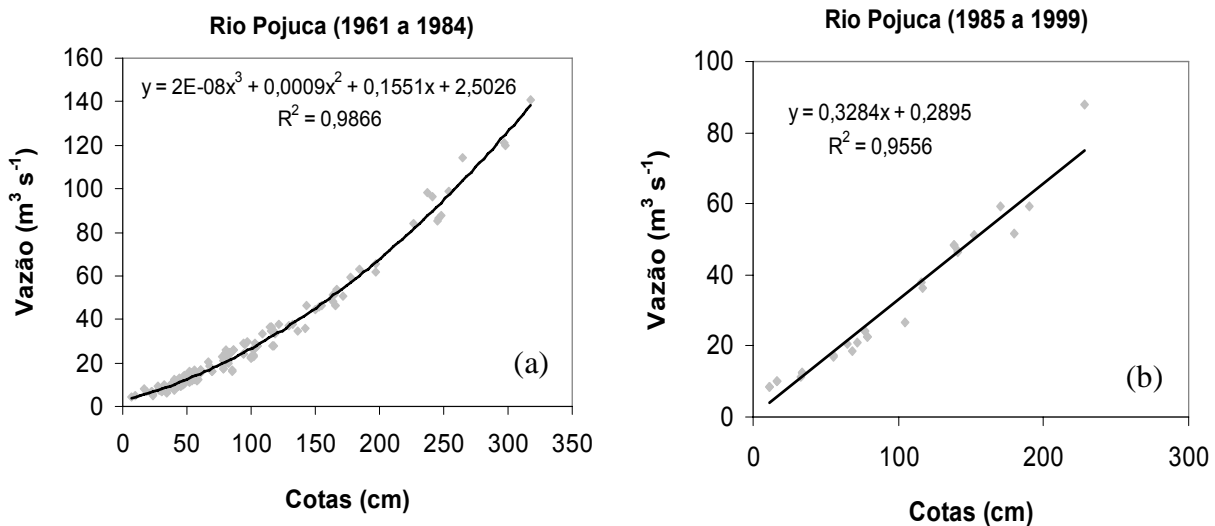


Figura 14 – Curvas-chave estabelecidas para a estação fluviométrica de Tiririca (Rio Pojuca), entre os períodos de 1961 a 1984 (a) e 1985 a 1999 (b).

Tabela 7 - Reclassificação das estações fluviométricas do LNEB, após correção da curva-chave para as vazões máximas (cotas altas).

Período	Estações / Rio	Vazão Máxima ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)		Reclassificação
		ANA	Recalculada	
1961 a 84	Tiririca / Pojuca	1138	298	C
1985 a 93		294	196	C
1966 a 99	Corte Grande / Inhambupe	290	210	C
1985 a 99	Altamira / Itapicuru	518	277	D

3.2. Batimetria e o modelo digital da área intermareal

A amostragem batimétrica foi executada sob a forma de perfis transversais ao canal estuarino, com o auxílio de um ecobatímetro acoplado a um GPS e a um computador portátil, obtendo-se simultaneamente as coordenadas x, y, z. Durante a amostragem (realizada nos dias 18/08/2001 e 31/08/2001), a altura da maré foi acompanhada em três pontos distintos ao longo do estuário para posterior redução dos dados.

No tratamento dos dados batimétricos eliminou-se os dados espúrios existentes na malha amostral (*spikes*) e interpolados manualmente. O contorno do canal foi obtido com base em fotografias aéreas, na escala de 1: 8.000 (CONDER, 1989) e nas folhas topográficas que recobrem a área. O georreferenciamento foi auxiliado por pontos coletados no campo com o GPS. O datum horizontal do levantamento utilizado foi o de Córrego Alegre, com projeção WGS 84.

Para construção do Modelo Digital de Terreno (MDT), as cotas da área externa ao estuário, bem como na desembocadura, foram estimadas considerando as variações observadas durante os levantamentos hidrodinâmicos em campo. A mesma estimativa foi atribuída para a cabeceira do estuário, assim como para alguns trechos onde a amostragem foi insuficiente. A elevação das áreas de manguezal mais interna foi estimada com base na elevação da preamar de sizígia. A interpolação das cotas batimétricas foi realizada com o software SMS[®], traçando-se o canal estuarino e os limites da área intermareal seguindo a linha da vegetação do manguezal (Figura 15). As cotas foram reduzidas ao nível médio do mar fornecido pelos registros maregráficos. Os dados batimétricos foram utilizados para determinação do prisma de maré, bem como o volume total do canal estuarino. Posteriormente, com base na análise harmônica das séries de maré, as elevações foram niveladas a um nível de redução arbitrário, relacionado ao extremo da baixamar.

O prisma de maré foi calculado a partir do modelo digital de terreno, com altura de maré conhecida, para os períodos de sizígia e quadratura (com o auxílio do Software SMS[®]). Devido ao amortecimento da onda de maré ao longo do estuário, este foi dividido em setores e os resultados posteriormente integrados a suas respectivas áreas. A elevação de maré máxima, associada a uma maré com altura de 1,27m, foi atribuída a elevação de 1,5m (borda externa do manguezal).

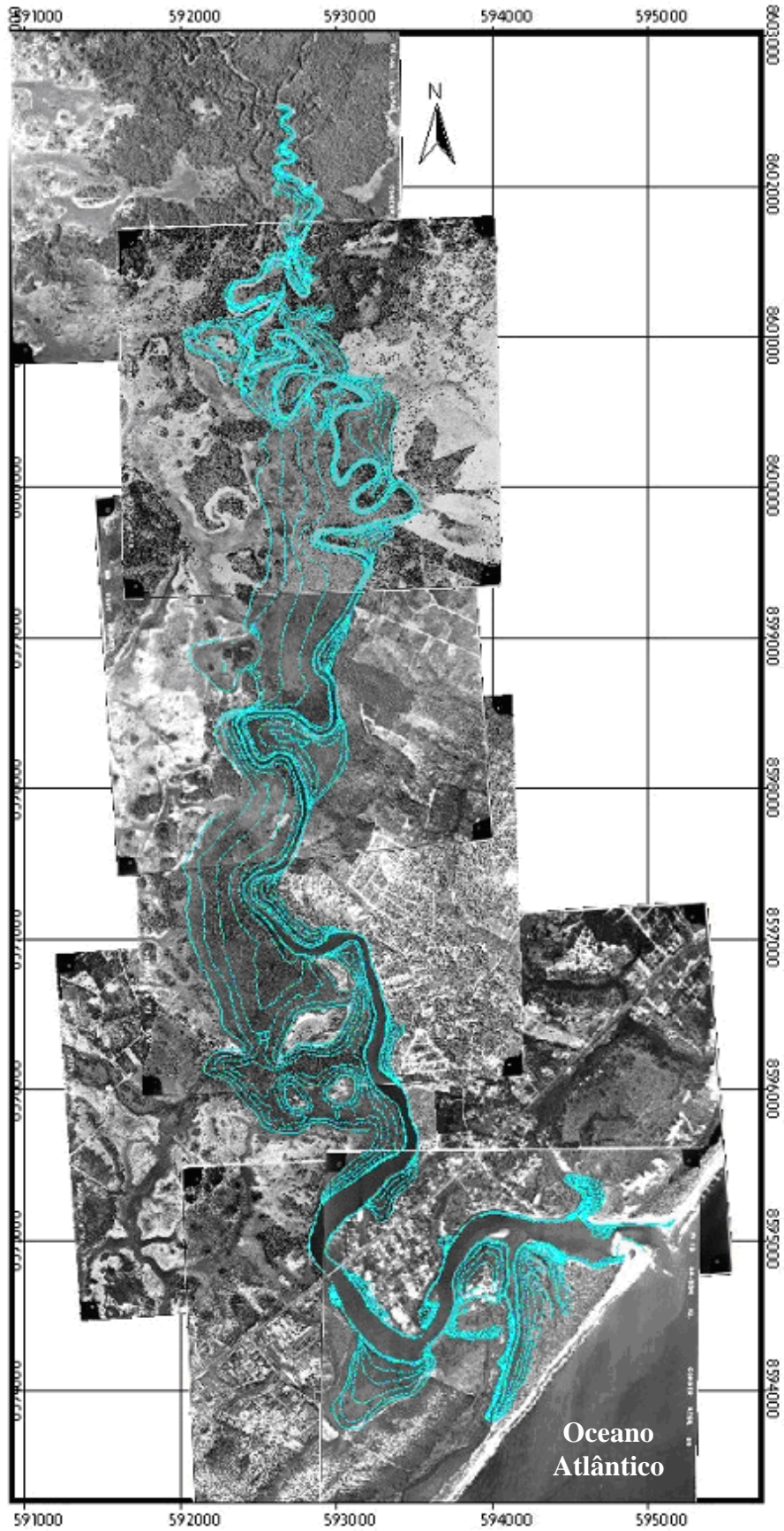


Figura 15 - Mosaico de fotos aéreas da zona estuarina do Rio Jacuipé, no detalhe em azul com as curvas de nível com equidistância de 20 cm no terreno, representando o modelo digital de terreno da área intermareal (CONDER, 1989).

3.3. Sedimento de fundo

Foram coletadas 75 amostras de sedimento superficiais de fundo, em seções espaçadas em 250 m ao longo de 14 quilômetros da zona estuarina, sendo duas ou três amostras por seção transversal, a depender da largura do canal (Figura 16).

O processo de coleta se deu com o auxílio de uma draga de mandíbula tipo *van veen*, sendo que todas as coletas foram realizadas no estágio de maré vazante, em 2 períodos distintos: dezembro de 2001 e julho 2002. Na primeira etapa (verão - quadratura), as amostras foram obtidas na parte central do canal, preferencialmente nos trechos retilíneos, enquanto que na segunda etapa (inverno - quadratura), as amostras foram obtidas em seções transversais próximos dos meandros. A última campanha (inverno - sizígia) apenas completou a malha amostral da etapa anterior.

Em laboratório, as amostras foram submetidas aos procedimentos padrões (quarteamento, lavagem e secagem) de análise granulométrica segundo o método de peneiramento, que avalia a distribuição dos percentuais de peso acumulado por tamanho de grão. Utilizou-se o intervalo de classe de $\frac{1}{2} \phi$ (ϕ), utilizando-se a escala de Wentworth (1922) para definir os limites de classes das frações de cascalho, areia e lama. As amostras com percentual superior a 5% de lama foram submetidas ao processo de pipetagem, para conhecimento da classificação textural do material fino existente.

Os cálculos estatísticos realizados foram embasados no método de Folk & Ward (1957). As amostras foram agrupadas nos diagramas triangulares de Shepard (1954) e Perjurup (1988). Este último método constitui em uma maneira de se avaliar a classificação dos sedimentos estuarinos segundo as condições hidrodinâmicas (maior ou menor energia) dos locais onde as amostras foram depositadas. Sendo assim, o ambiente deposicional será classificado como de hidrodinâmica: baixa (I), moderada (II), alta (III) e muito alta (IV).

Foram testados vários métodos de interpolação, mas nenhum forneceu resultado satisfatório, devido à sinuosidade do canal estuarino. Sendo assim, os mapas de distribuição das fácies sedimentares, deve-se considerar apenas a distribuição pontual das amostras (Figura 16).

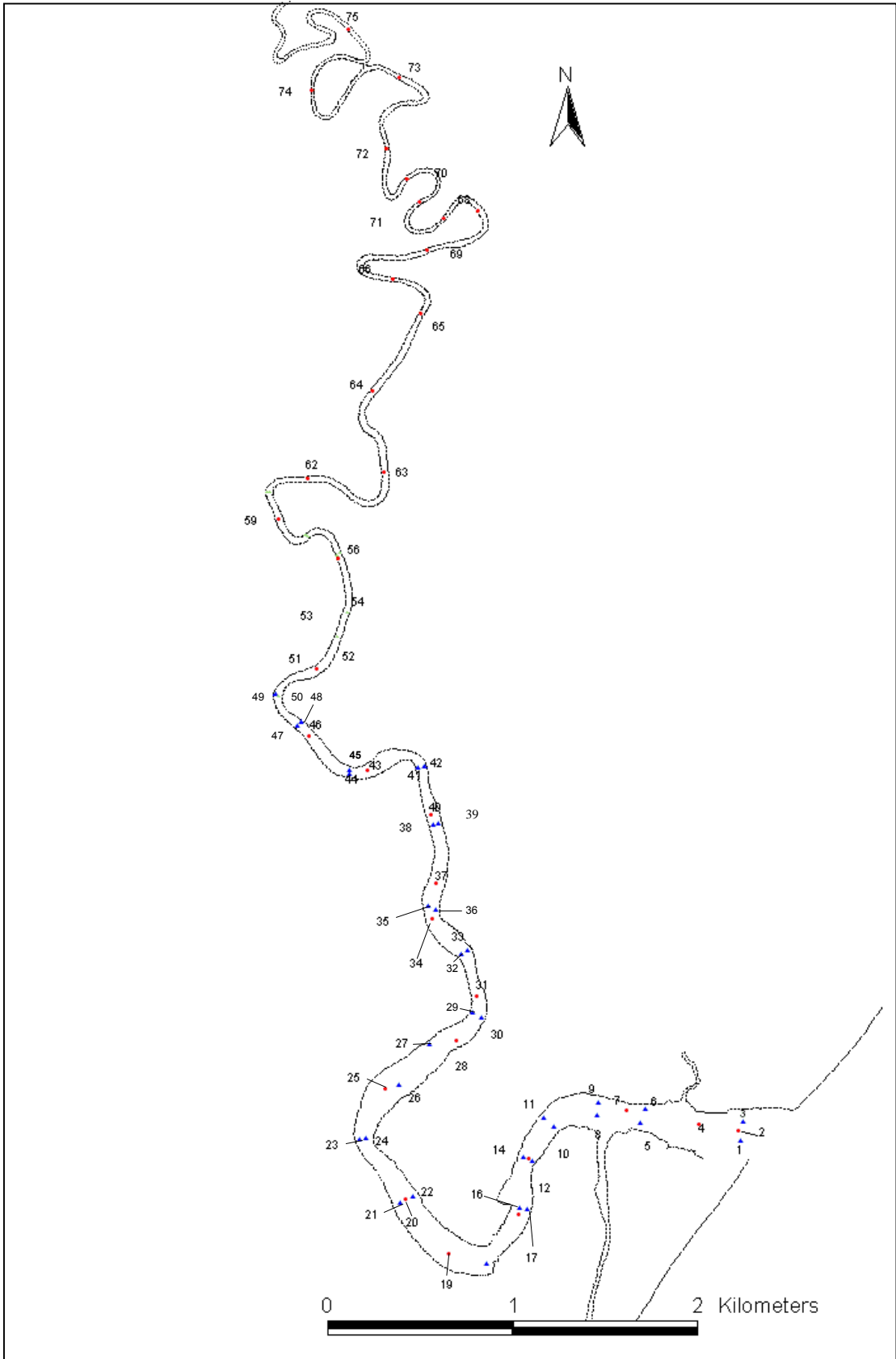


Figura 16 - Localização das amostras de sedimento de fundo, coletadas no estuário do Rio Jacuípe.

3.4. Marés

O monitoramento da maré no estuário foi realizado em 2 estações (Figura 17 e 18), utilizando-se marégrafos analógicos de peso/contrapeso, com registrador de papel, da marca Hidrologia – modelo LNG – 7. O aparelho tem precisão de 1 cm na elevação do nível d'água e 15 min no tempo (Figuras 19). A estação 1 esteve localizada a aproximadamente 5,5 km da costa e permaneceu operacional entre os meses de maio e agosto de 2002, totalizando 103 dias de amostragem. A segunda estação esteve localizada a 13 Km da costa, operando por apenas 10 dias no mês de agosto.

Os registros foram computados em mesa digitalizadora e as lacunas na série temporal foram preenchidas por interpolação polinomial. A série temporal foi submetida à análise harmônica, para extração das principais componentes. Em seguida, calculou-se a defasagem de tempo e elevação do nível d'água do interior do estuário em relação ao oceano, com base nos dados provenientes da previsão da maré oceânica em Praia do Forte. A importância da componente astronômica na amplitude total da maré foi calculada através da razão da variância entre as séries prevista e observada. Os registros de maré no interior do estuário foram reduzidos ao nível mais baixo da maré na série temporal, sendo que a estação 2 foi nivelada em relação à estação 1.

As alturas médias das marés, obtidas com os dados observados, foram comparadas com a maré prevista, fornecida pelos constituintes harmônicos $2(M_2+S_2)$ e $2(M_2-S_2)$, para os períodos de sizígia e quadratura, respectivamente, para observar o comportamento da maré no estuário em relação ao oceano. O número de forma da maré (N_f), definido pela razão dos constituintes harmônicos diurnos e semidiurnos, foi também calculado através da equação:

$$N_f = \frac{(K_1 + O_1)}{(M_2 + S_2)}$$

onde, a maré pode classificar-se como: *semidiurna* ($0 < N_f < 0,25$), mista com predominância *semidiurna* ($0,25 < N_f < 1,5$), mista com predominância *diurna* ($1,5 < N_f < 3,0$) e *diurna* ($N_f > 3,0$).

Para identificar a interferência causada na maré pelos fenômenos hidrometeorológicos (vento e vazão) foi utilizado um filtro passa-baixo tipo *Doodson*, para eliminar variações nas frequências, inferiores a 72 horas. Os dados de vento foram obtidos com a empresa *Millenium Chemicals*, localizada aproximadamente 10 km ao sul da embocadura do Rio Jacuípe.



Figura 17 - Localização das estações maregráficas 1 e 2 no estuário do Rio Jacuípe e da estação de monitoramento do fluxo ao longo do ciclo de maré.

Para avaliar a assimetria da onda de maré, utilizou-se a relação entre a diferença do ângulo de fase, expressa por $2(M_2 - M_4)$, onde os valores entre 180° e 360° correspondem à assimetria positiva, enquanto que valores entre 0° e 180° referem-se à assimetria negativa (Aubrey e Friedrichs, 1988). Um segundo método para avaliar a variação temporal da assimetria baseado na relação do logaritmo natural (LN), da razão do tempo de enchente e vazante com altura da maré.



Figura 18 - Localização da estação maregráfica 1.

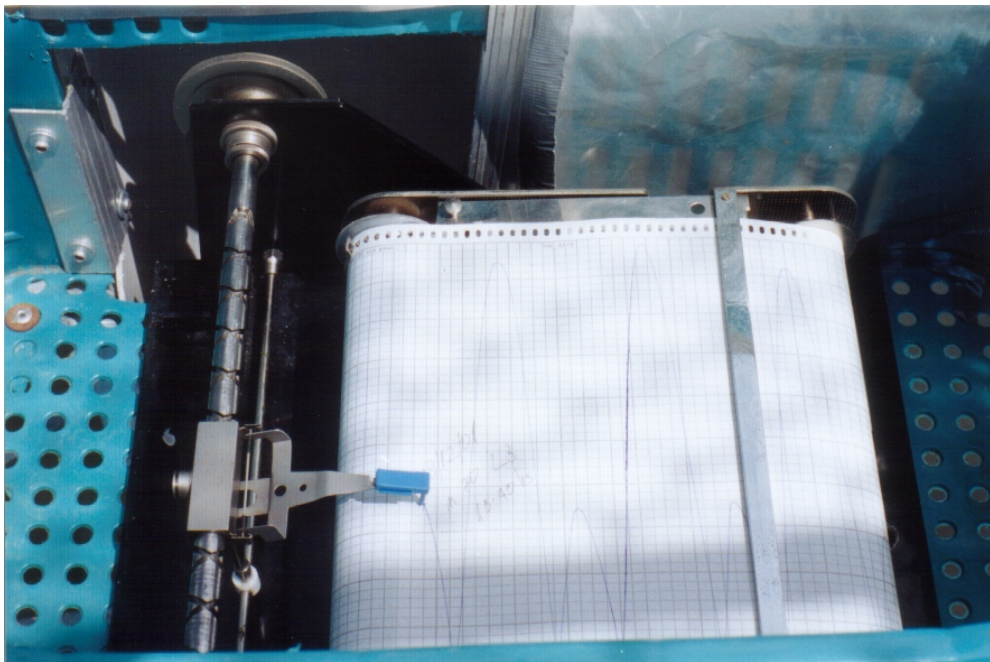


Figura 19 - Modelo do linógrafo utilizado na coleta dos dados.

3.5. Monitoramento espacial

A variação espacial do estuário do Rio Jacuípe foi feita ao longo do eixo central do estuário, totalizando 37 perfis longitudinais de salinidade e turbidez. A primeira série de monitoramentos, em setembro de 2001, contemplou um ciclo quinzenal de maré (entre quadratura e sizígia), tendo sido realizados 12 perfis na preamar e 15 perfis na baixamar. Os monitoramentos foram realizados na estufa da baixamar e preamar e contemplando diferentes vazões fluviais (Tabela 8).

O tempo necessário para que a descarga liberada pela Barragem de Santa Helena se desloque até a cabeceira do estuário é de aproximadamente 12 horas, valor este obtido pela comparação direta da abertura da comporta e a redução dos valores de salinidade na porção mais interior do estuário.

Tabela 8 – Dados de vazão, maré e precipitação dos dias de monitoramento em 2001.

Data	Estágio da maré	Vazão da BSH (m ³ s ⁻¹)	Elevação (cm)	Precipitação (mm)
		12 horas antes		dia anterior
07/09/2001	BM	7.3	45	2
08/09/2001	PM	7.3	184	0
08/09/2001	BM	7.3	57	0
09/09/2001	PM	7.3	172	13
09/09/2001	BM	7.3	58	13
10/09/2001	PM	7.3	161	0
10/09/2001	BM	7.3	67	0
11/09/2001	PM	0	156	0
11/09/2001	BM	0	70	0
12/09/2001	PM	0	163	0
12/09/2001	BM	0	61	0
13/09/2001	PM	3.7	177	0
13/09/2001	BM	3.7	43	0
14/09/2001	PM	0	194	0
14/09/2001	BM	0	24	0
15/09/2001	PM	0	209	0
15/09/2001	BM	0	6	0
16/09/2001	PM	3.7	220	0
16/09/2001	BM	0	-6	0
17/09/2001	PM	3.7	225	0
17/09/2001	BM	3.7	-12	0
18/09/2001	PM	3.7	225	37
18/09/2001	BM	3.7	-11	37
19/09/2001	BM	22	-2	46
20/09/2001	PM	86	207	55
20/09/2001	BM	86	13	55
21/09/2001	BM	54	32	37

BM = baixamar e PM = preamar

A amostragem dos parâmetros relacionados acima se deu verticalmente, a cada metro na coluna d'água, em estações distribuídas em aproximadamente 500 m (ao longo do curso estuarino). As medições foram realizadas até o ponto onde a presença de sal deixou de ser verificada e os valores de turbidez se estabilizaram. Foram utilizadas sondas multi-parâmetros da marca Hydrolab (Figura 20) e Horiba U10.



Figura 20 - Coleta dos parâmetros de salinidade e turbidez no estuário do Rio Jacuípe, com o auxílio da sonda hydrolab.

A turbidez foi expressa em unidade nefelométrica (NTU). Apesar da amostras de água terem sido coletadas em diversas profundidades para conversão do sinal em concentração de sedimento em suspensão (CSS), os resultados foram insatisfatórios. Apenas 1 entre 9 exercícios de calibração gerou resultados aceitáveis.

Os dados de salinidade e turbidez foram interpolados por meio do método de kriging, com o auxílio do programa Surfer. A morfologia do fundo (*blank*) foi obtida posição média do fundo, entre baixamar e preamar, para períodos de sizígia e quadratura. Foram estabelecidas as médias de salinidade referente a cada distância e profundidade em relação à embocadura estuarina. Computou-se a extensão da intrusão salina para os limites oligohalinos (superfície e fundo) e a predominância da coluna d'água completamente doce. Através de regressão múltipla foi determinada a intrusão salina como dependente da vazão fluvial, altura de maré oceânica e a precipitação em Emboacica. A validade desta medida foi estimada com base no coeficiente de

regressão múltipla ($R^{\text{múltiplo}}$), que indica o nível percentual em que as mudanças de uma das variáveis podem ser explicadas em relação às mudanças de n-variáveis. O grau de significância pode ser classificado em: significativo quando $0.01 < p < 0.05$, muito significativo sendo $0.001 < p < 0.01$ e extremamente significativo, sendo $p < 0.001$ (Callegari-Jacques, 2004).

3.6. Monitoramento da variação temporal do fluxo

O local de monitoramento localizou-se a 6.3 Km da embocadura (ver figura 15), tendo sido escolhido com base nos levantamentos dos perfis longitudinais, realizados anteriormente, os quais indicaram a área de maior turbidez. A velocidade de corrente, salinidade e turbidez foram monitoradas no centro do canal, durante 1 ciclo completo de maré (13 horas), em intervalos de coleta de 30 minutos, com o espaçamento vertical de 1m do fundo para superfície. O monitoramento em 2002 contemplou diferentes amplitudes de maré e vazões fluviais, num total de 3 ciclos em quadratura (dias 19/05, 16/06 e 31/07), 4 ciclos em sizígia (27/04, 28/05, 09/07 e 12/07) e 1 ciclo intermediário (07/07).

As profundidades foram adimensionalizadas e as velocidades de corrente decompostas nas componentes paralela e transversal ao canal. Valores negativos do fluxo paralelo ao canal correspondem a fluxos de enchente e, valores positivos, correspondem aos fluxos de vazante. Os resultados gráficos de cada monitoramento foram plotados ao longo do ciclo de maré, sendo agrupados cronologicamente com o acompanhamento da descarga fluvial da BSH, antecedendo pelo menos 12 horas do início da coleta e até a sua conclusão. Comparou-se também, as variações de altura e assimetria da maré com as condicionantes hidrometeorológicas.

Para classificar o estuário quanto às suas características hidrodinâmicas, calculou-se também os parâmetros estratificação $\frac{\delta S}{S}$ e de circulação $\frac{u_s}{u_f}$. O primeiro parâmetro é a proporção entre a diferença de salinidade entre a superfície e o fundo pela salinidade média na coluna d'água. Já o segundo considerou-se a relação entre a velocidade média na superfície e velocidade da coluna d'água.

A capacidade de remoção de substâncias concentradas no estuário foi testada pelo método tempo de descarga (*flushing time*), que indica o tempo de descarga necessário para que ocorra a renovação da massa d'água do sistema estuarino, em função da descarga fluvial, prisma de maré e pela concentração de sal (Miranda *et al.* 2002), dada pela equação:

$$T_Q = \frac{(S_0 - \bar{S})}{S_0} \frac{V}{Q_f}$$

onde, T_Q é o tempo de descarga (em horas) referente a um ciclo de maré, S_0 = salinidade oceânica, considerando o limite inferior de águas tropicais (36 ups), \bar{S} = salinidade média da estação, V = volume do compartimento considerado (3.2 km³) e Q_f = descarga fluvial.

4 . **RESULTADOS**

*Não importa onde você parou ...
Em que momento você cansou ...
O que importa é que sempre é possível
e necessário "Recomeçar".
Recomeçar é dar uma nova chance
a si mesmo ...
E renovar as esperanças na vida
E o mais importante ...
Acreditar em você de novo ...*

Carlos Drummond de Andrade

4.1. Descarga fluvial

4.1.1. Consistência nos dados das estações do Rio Jacuípe

Não foram identificados problemas nas vazões mínimas das estações, tendo todas sido classificadas como "A", ou seja, com ótima qualidade dos dados (Tabela 9). Entretanto, o mesmo não ocorreu com as vazões máximas, tendo as estações apresentado qualidade mediana ou ruim. A única estação em conformidade com critério de qualidade aplicado (classificadas entre A e C) foi a estação Emboacica. Para a estação Mata de São João (classificada inicialmente como E – Tabela 7) a curva-chave foi refeita e estabelecida uma nova curva de melhor ajuste, obtendo um coeficiente $R^2 = 0.95$ (Figura 19). Com isso, a estação foi reclassificada como C. As demais estações foram desconsideradas devido à qualidade dos resultados.

Tabela 9 – Classificação primária das estações fluviométricas do Rio Jacuípe quanto à qualidade dos dados, segundo o método de regionalização de vazões (Tucci, 1997).

Período	Estações	Máximas		Mínimas	Classificação (Max)	Classificação (Min)
		Vazão M/O*	Cota M/O*	Cota M/O*		
1961 a 79	Emboacica	71 / 108	444 / 584	46 / 40	C	A
1963 a 71	A. Bahia	50 / 183	369 / 999	68 / 31	E	A
1955 a 99	M. S. João	51 / 192	428 / 630	54 / 38	E	A
1955 a 99	S. S. Passé	60 / 260	500 / 571	80 / 50	E	A

* M = medido e O = observado

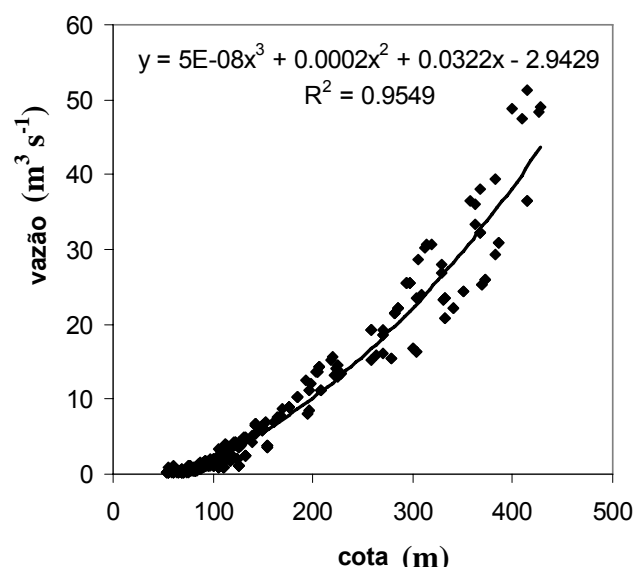


Figura 21 - Curva-chave da estação fluviométrica Mata de São João.

4.1.2. Análise Hidrológica do Rio Jacuípe

4.1.2.1. Precipitação

A média de precipitação anual acumulada é de aproximadamente 1550 mm, com período úmido entre os meses de março e agosto. Já a estação seca ocorre entre os meses de setembro e fevereiro. Os meses de maior e menor pluviosidade são maio (235 mm) e janeiro (60 mm), respectivamente, sendo que a máxima acumulada no mês de maio pode superar 800mm (Figura 22a). Os desvios padrões, apresentaram-se maiores nos meses de março a maio (período úmido). No último trimestre do ano, considerado como a estação seca na região, observa-se também o aumento da precipitação máxima, por causa de chuvas concentradas (Figura 22b).

Picos de precipitação diária em abril e maio (Figura 22c) equiparam-se às médias mensais das estações mais secas (Figura 22b), podendo atingir 150 mm/dia. A média da precipitação máxima mensal atinge cerca de 800 mm em maio e 600 mm em março.

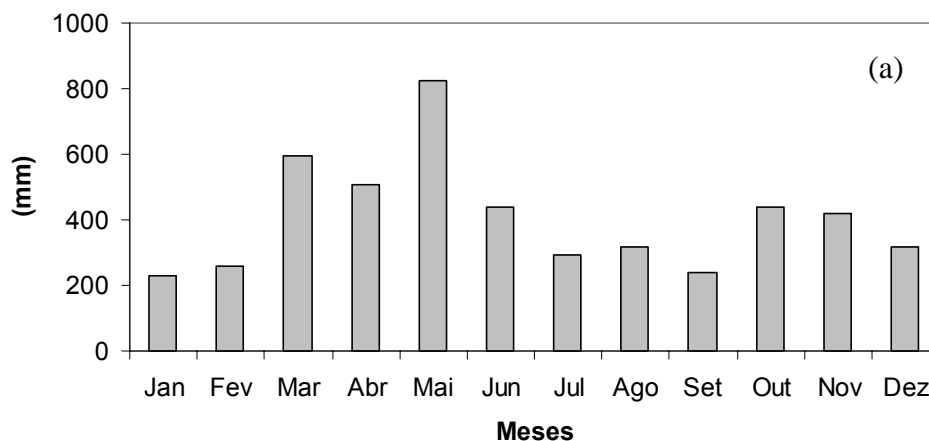


Figura 22 - Hietogramas de dados máximos acumulados mensalmente (a).

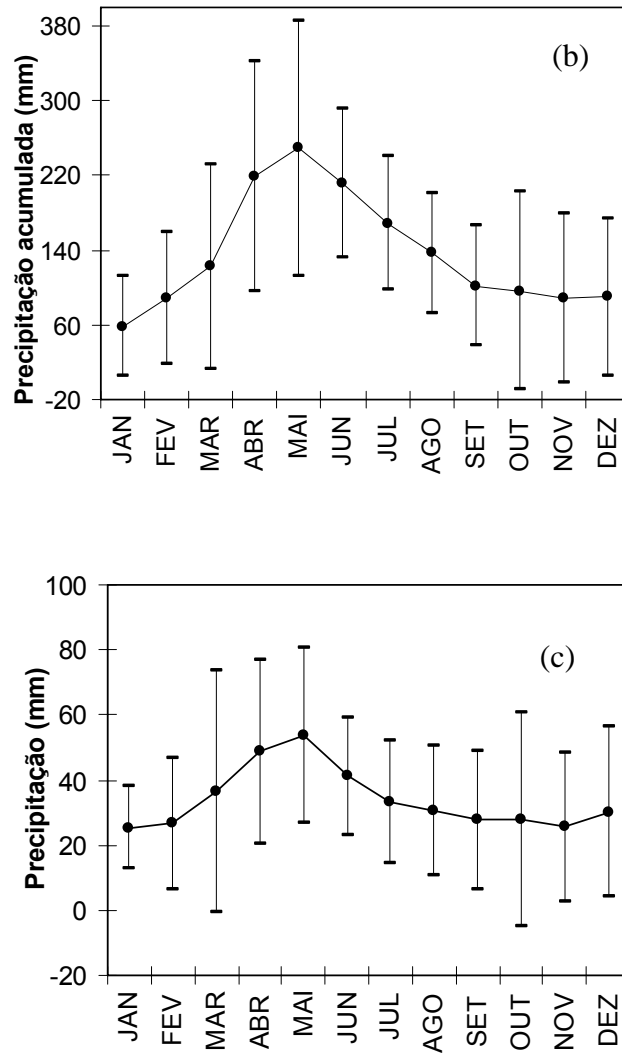


Figura 22 (continuação) - Hietogramas de dados máximos acumulados mensalmente (a), desvios padrões da média acumulada mensal (b) e picos diários de precipitação (c). As barras verticais referem-se aos respectivos desvios mensais ao longo do ano. Dados entre 1969 a 2004.

4.1.2.2. Descarga fluvial

A vazão média diária da estação de Emboacica (vazão natural), considerando o intervalo de 1961 a 1979 (Figura 23a) foi de $16,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, com valor mínimo e máximo com $0,8$ e $109,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, respectivamente. O desvio padrão apresenta pequenas oscilações na descarga de longo período, da ordem de $19,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. A distribuição das médias mensais da vazão natural acompanha a distribuição da precipitação, com característica unimodal. Já a distribuição da média das vazões máximas mensais é bimodal, ocorrendo um máximo de $67,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no mês de maio e outro em novembro de $33,7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Os menores valores de descarga média acontecem nos meses de setembro a abril (Figura 23c).

Apesar da BSH ter sido criada com a finalidade de suporte ao abastecimento de água da Região Metropolitana de Salvador, sua operacionalização ocorre de forma inusitada. Até o momento, a retirada de água prevista por meio de transposição, para a Barragem Joanes II (bacia adjacente), ainda não foi iniciada. Porém, sua operação tem causado anomalias de descarga, seja pela inserção de valores anormalmente altos de vazão, seja por alterações do regime hidrológico do rio. As alterações da frequência de ocorrência das vazões naturais foram observadas em praticamente todas as faixas de descarga, acarretando na:

Redução da vazão mínima - com destaque para o grande número de vazões nulas, devido às comportas da barragem estarem fechadas. A ausência de descarga abrangeu longos períodos, principalmente em 2001 (enchimento do reservatório), todo o segundo semestre de 2003 e outros períodos mais curtos. A ausência de descarga representou uma frequência de 36.7% entre 2001 a 2005 (Figura 23);

Redução da vazão média - a descarga média de longo período foi reduzida em cerca 55.6%, passando de $16,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (1961 a 1979) para $9,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (2001 a 2005).

Amplificação dos picos de vazões - foram observados 28 picos de vazões superiores à série histórica, que era de $109 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (1961 a 1979). Os picos de vazões máximas diárias atingiram $561 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, sendo este cerca de cinco vezes a magnitude do fluxo natural. Valores médios horários de descarga alcançaram o máximo de $834 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Com esta situação, a frequência dos picos de descarga passou de uma frequência de 0.1% para 1.4% (Figura 23). Mesmo assim, a média das descargas máxima ao longo do ano foi também reduzida.

Alteração do regime das descargas - o comportamento do regime hidrológico conhecido mensalmente foi modificado, havendo distorções no padrão das descargas.

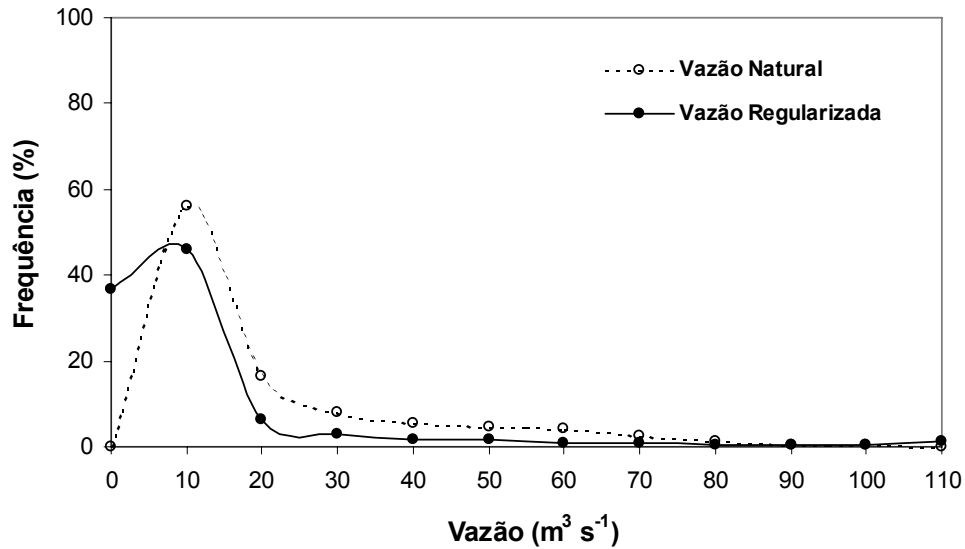


Figura 23 – Frequência de ocorrência das vazões do Rio Jacuípe, com o seu curso natural e atualmente controlado pela Barragem Santa Helena.

Uma visão geral do comportamento das descargas pode ser observada na figura 24. Variações das descargas em torno da média mensal foram verificadas, pela análise dos desvios padrões, estes se apresentando homogêneos em relação às médias mensais para o fluxo natural (Figura 24c), com valores de $7.7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (novembro) a $21.7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (maio) entre os períodos de estiagem e úmido, respectivamente. O mesmo se aplica, a análise das máximas (Figura 24d), aumentando a amplitude dos desvios de $19.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (julho) a $32 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (maio).

Conforme já mencionado, com o início operacional da BSH (2001), o regime de descarga foi alterado. O mês de maio se manteve na previsão da intensidade de descargas, mas, a maior parte dos meses sofreu modificações no seu comportamento hidrológico. A distribuição de frequência de característica bimodal, em relação à média das máximas (Figura 24d) foi alterada com a diminuição das vazões nos meses de outubro, novembro e dezembro (Figura 24f). Já no mês de janeiro, período observado com as menores descargas, manteve a sua vazão média de $8.7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, tendo ampliado a variação em torno da média, de $8.3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, para $29.7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. No mês de julho, ocorreu o efeito contrário, o aumento dos desvios, em consonância ao aumento das descargas.

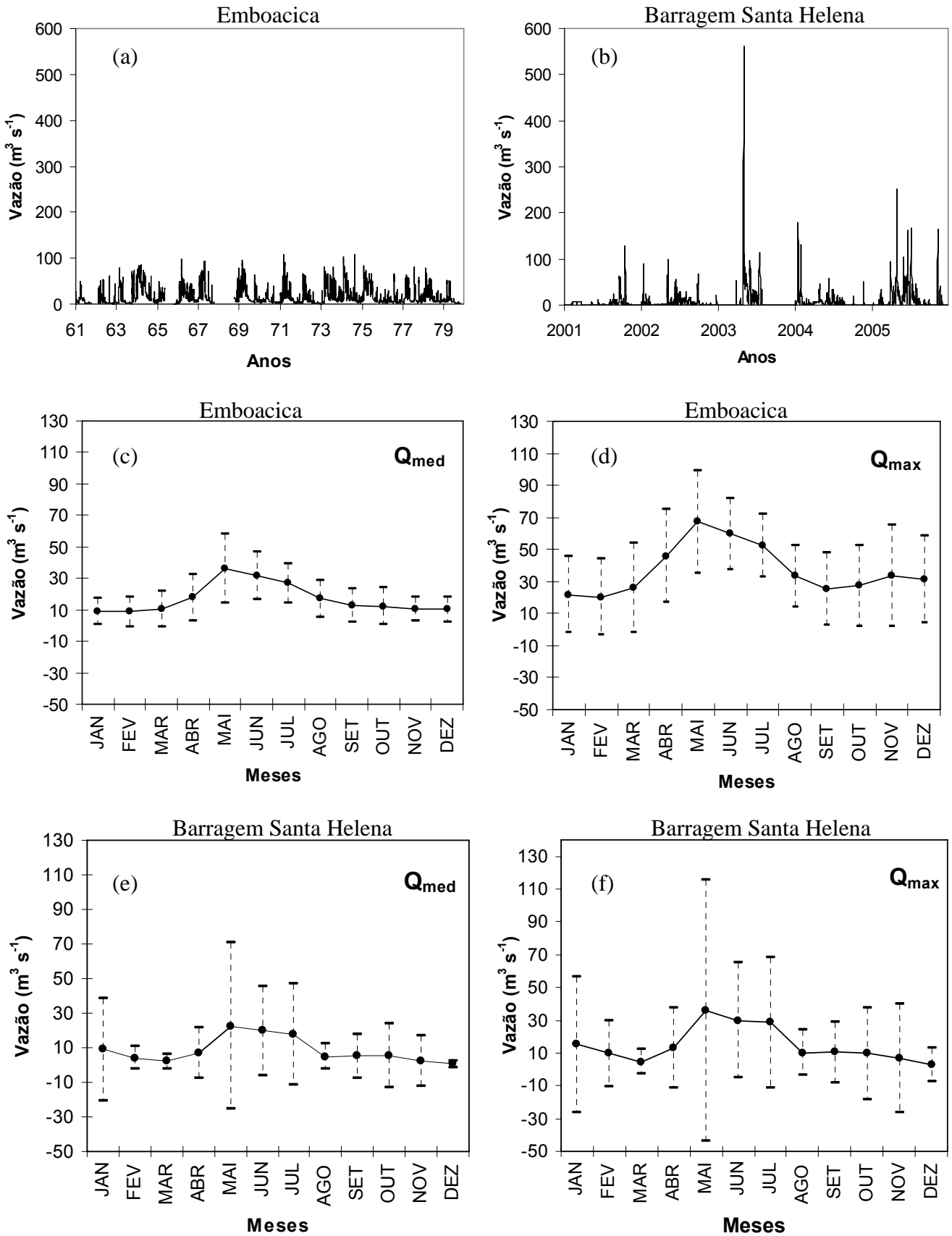


Figura 24 - Hidrogramas do Rio Jacuípe (média diária), com fluxo natural entre 1961 e 1979 (Estação Emboacica) (a) e com o fluxo regido pela Barragem Santa Helena, entre 2001 e 2005 (b), vazão média mensal (c) e máxima mensal (d) para o fluxo natural, vazão média mensal (e) e máxima mensal (f) da Barragem Santa Helena. A linha tracejada refere-se ao desvio padrão.

4.1.3. Variabilidade interanual

Para uma melhor avaliação do comportamento histórico das descargas do Rio Jacuípe, estendeu-se a série temporal das médias anuais de Emboacica de 1961 e 1979 (Tabela 1), para um intervalo de 44 anos (1955 a 1999). Através da correlação dos dados das estações de Emboacica com Mata de São João, obteve-se a curva de melhor ajuste por meio da equação polinomial de 3ª ordem, com coeficiente de correlação $R^2 = 0,92$ (Figura 25). Normalmente, esta correlação pode ser feita quando as vazões não forem extremas, tendendo a média destas a se equilibrarem ao longo do ano.

A variabilidade hidrológica interanual de maior frequência (com intervalos de 3 a 5 anos) ocorre de forma análoga para precipitação e vazão (Figura 26). As amplitudes de variação da descarga fluvial atingem até $29 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ entre os anos mais secos e mais úmidos, e estão superpostas a ciclos mais longos com aproximadamente 10 anos. Os ciclos de baixa frequência bem marcados na série do Rio Jacuípe (com comprimento mais longo) têm amplitude de $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Figura 27). Estes ciclos são nitidamente definidos pela pluviosidade, conforme mostra a série filtrada da precipitação. A amplitude da oscilação de baixa frequência associada à precipitação é de pelo menos 200 mm (Figura 27).

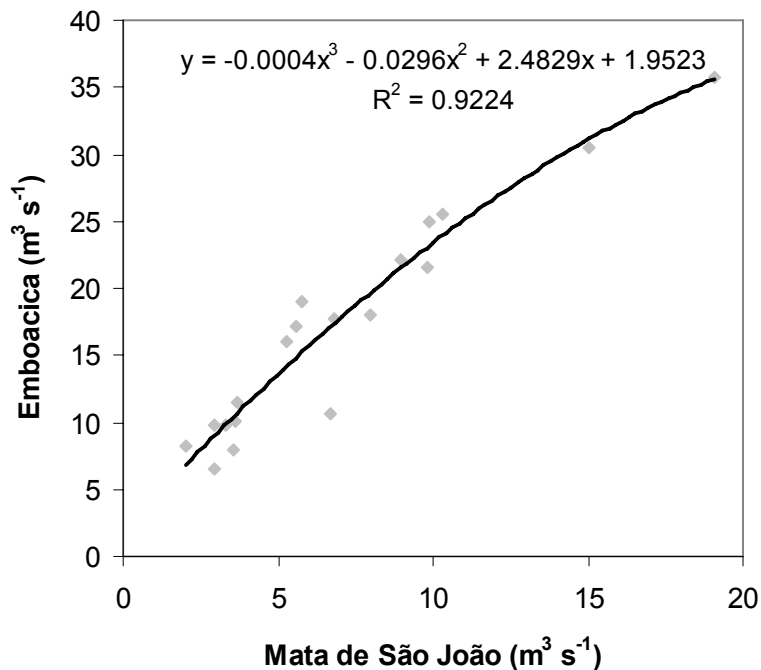


Figura 25 - Curva de melhor ajuste dos dados vazão média anual das estações fluviométricas de Mata de São João e Emboacica.

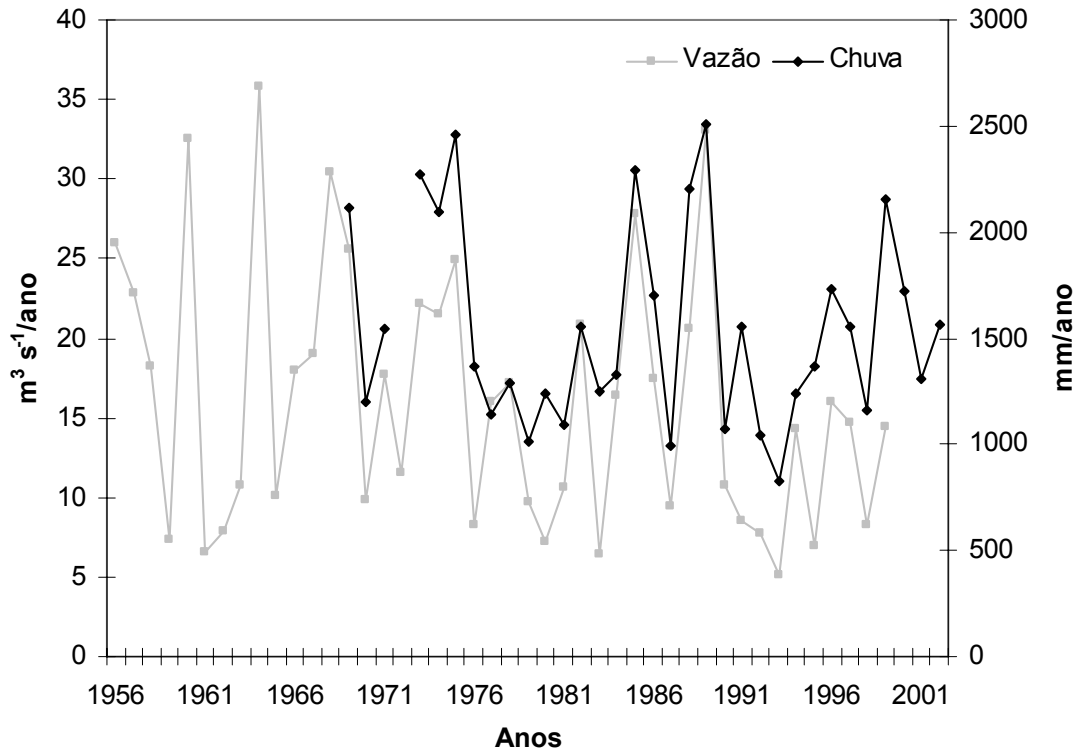


Figura 26 - vazão média anual ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) do Rio Jacuípe com a série estendida de 1955 a 1999 (Estação de Emboacica) e precipitação média anual (mm) com série de 1969 a 2002.

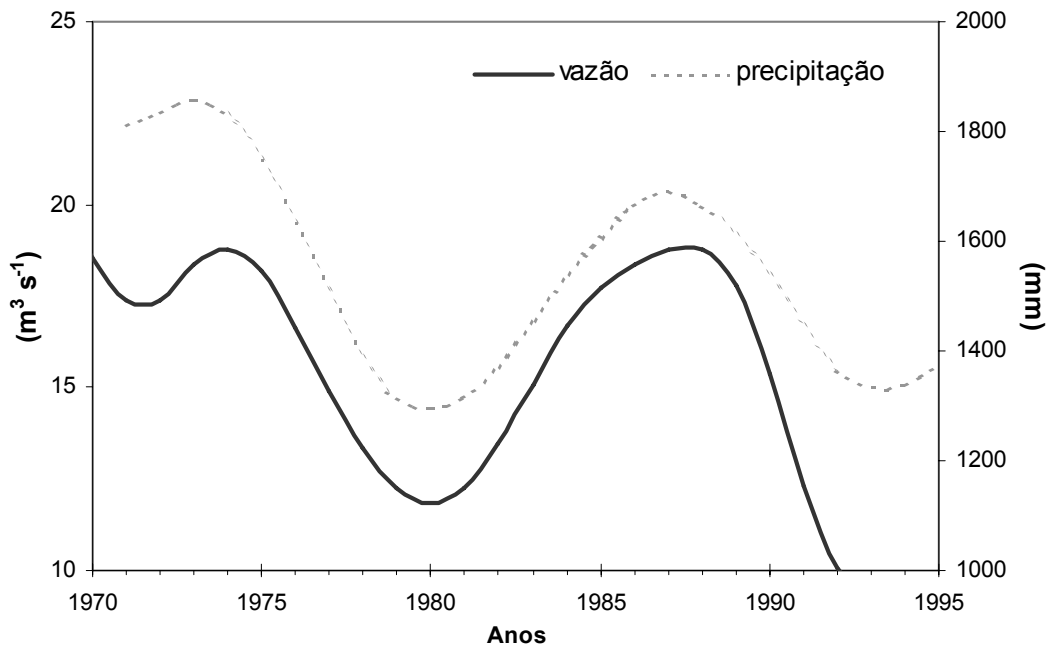


Figura 27 - Ciclos de baixa frequência de precipitação e vazão para filtros de 10 anos.

4.1.4. Descarga fluvial total para a zona estuarina

O modelo utilizado para determinar o volume de água doce, captada na área a jusante de Emboacica gerou resultados discrepantes entre as sub-áreas (Figura 28). A diferença pode ser explicada pelo índice pluviométrico heterogêneo, devido ao gradiente de precipitação encontrado nesta faixa litorânea. A vazão do Rio Capivara Grande, em média de $6.42 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, podendo atingir $15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no mês de maio (correspondente à área A_1) foi superestimada devido, possivelmente, à extensão da sua área de captação e ao elevado índice pluviométrico, se comparada com as demais sub-áreas. Neste caso, o valor de descarga do Rio Capivara deve ser desconsiderado, por se tratar de descargas localizadas na confluência com o Rio Jacuípe, já muito próximo à foz, não afetando os processos de mistura estuarina.

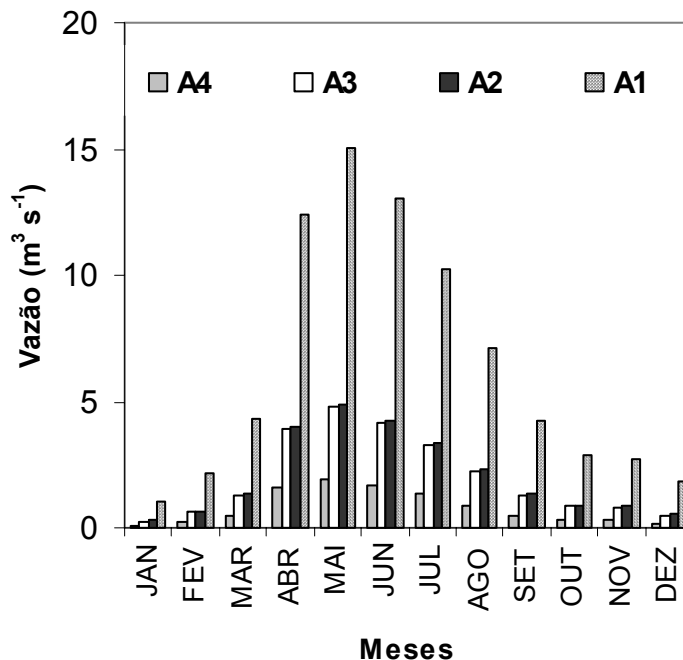


Figura 28 - Hidrograma das médias mensais das sub-áreas a jusante da estação de Emboacica (A1, A2, A3 e A4).

Se considerarmos a descarga potencial estimada para as sub-áreas A_2 , A_3 e A_4 (descarga a jusante de Emboacica), esta apresentou uma média de $4,86 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (22,3% do total). Somando-se este valor estimado, com a descarga medida no restante da bacia, a vazão média total para o estuário se situa em torno de $21.8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. No período úmido (maio), a vazão média esperada é de $48 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e, no período seco, inferior a $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Figura 29).

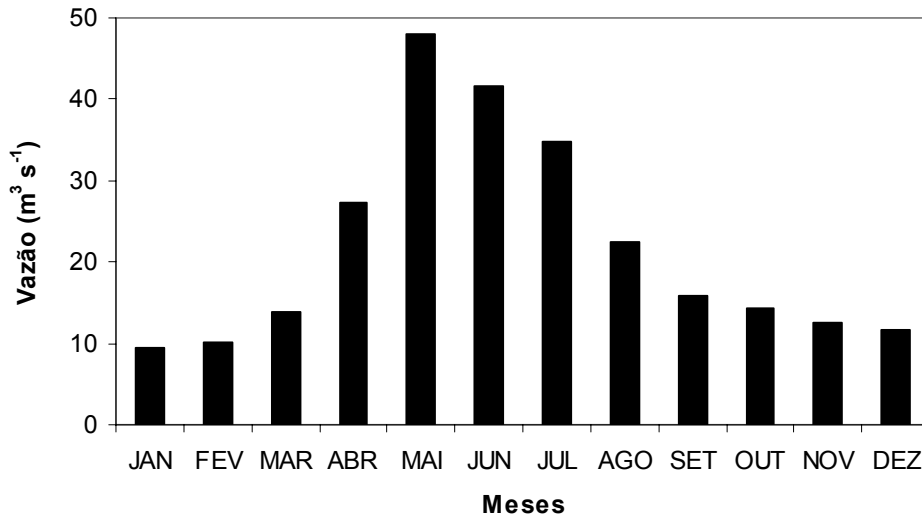


Figura 29 - Hidrograma das descargas médias totais mensais do Rio Jacuípe.

A estação fluviométrica de Emboacica foi desativada com a primeira construção da barragem Santa Helena (BSH), em 1980. Para efeito de comparação projetou-se a vazão média mensal de Emboacica até a barragem, reduzindo a pequena diferença em área de 25km², para avaliar as modificações de descargas provenientes do barramento. Com exceção do mês de janeiro, todos os demais meses tiveram as suas descargas reduzidas após entrar em operação a BSH (Figura 30). Na ausência de descargas na barragem, o estuário pode contar com apenas a água doce captada a jusante desta, com média estimada em 5.3 m³ s⁻¹, sendo a mínima de 0.7 m³ s⁻¹ em janeiro e máxima de 12.8 m³ s⁻¹ em maio.

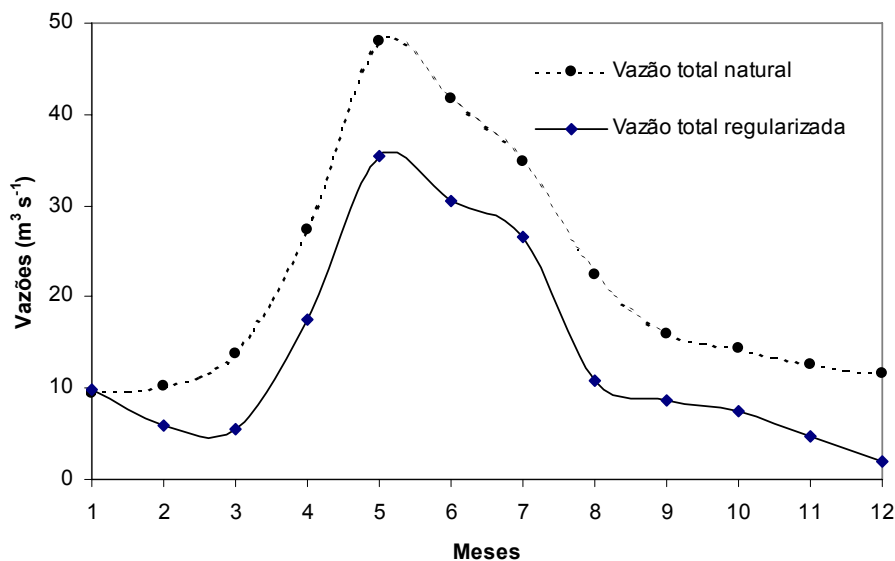


Figura 30 - Descarga fluvial total esperada para a zona estuarina, comparando-se a vazão natural do passado (1961-1979), com o fluxo atual controlado pela Barragem Santa Helena (2001-2005) e a descarga a jusante dela (valores médios mensais).

4.1.5. Comportamento hidrológico das demais bacias de drenagem do Litoral Norte do Estado da Bahia

As séries históricas de descarga média diária dos demais rios do Litoral Norte do Estado da Bahia (LNEB) são apresentadas na figura 31. Os rios de maior e menor vazão são Itapicuru e Subaúma, com descarga média de longo período de $40,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $5,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, respectivamente. O desvio padrão calculado é normalmente elevado, sendo explicado pela forte sazonalidade climática nas bacias de drenagem. Esta sazonalidade é mais acentuada nos rios com maiores áreas, exposta na porção interior a um clima semi-árido (Figura 31). As maiores vazões médias são alcançadas indistintamente no mês de maio, sendo que os rios que possuem suas cabeceiras no interior do continente são afetados pelas chuvas de verão em dezembro, quando as descargas também se elevam. Os rios Itapicuru e o Pojuca apresentaram as médias das máximas mais elevadas, com $69,7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $52,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, respectivamente (Figura 32).

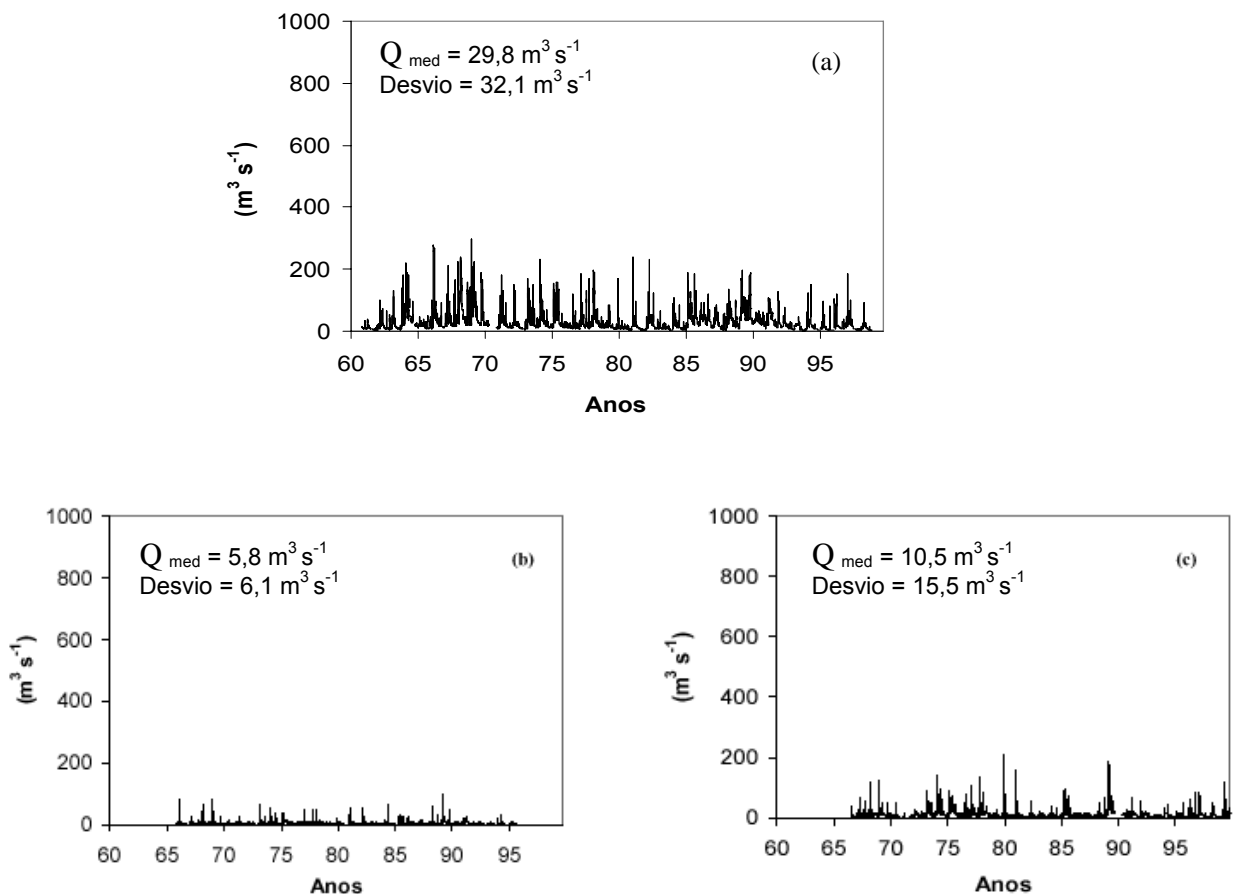


Figura 31 – Hidrogramas das médias diárias dos rios Pojuca (a), Subaúma (b) e Inhambupe (c).

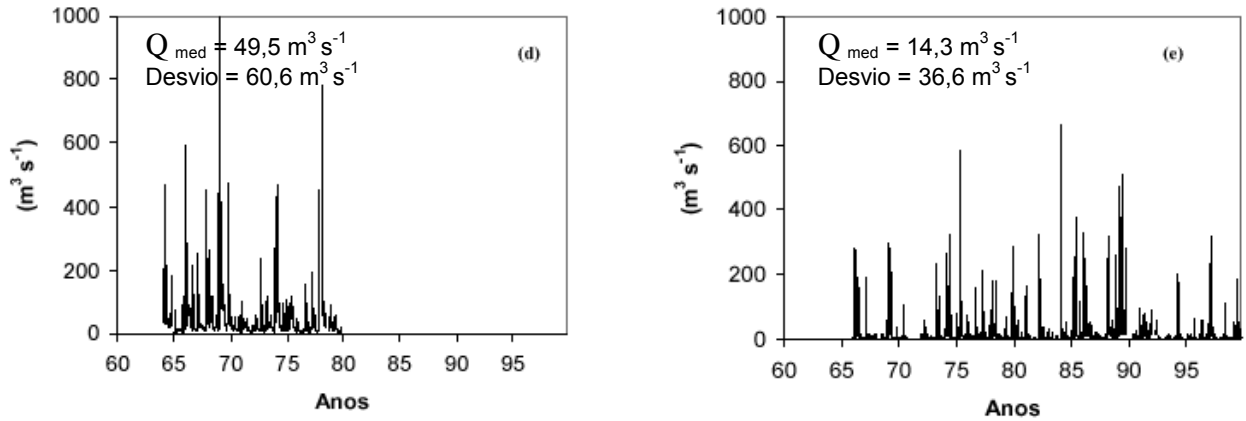


Figura 31 (continuação) – Hidrogramas das médias diárias dos rios Itapicuru (d) e Real (e). No canto superior esquerdo, observa-se a vazão média de longo período e desvio padrão ($m^3 s^{-1}$) dos principais rios do LNEB.

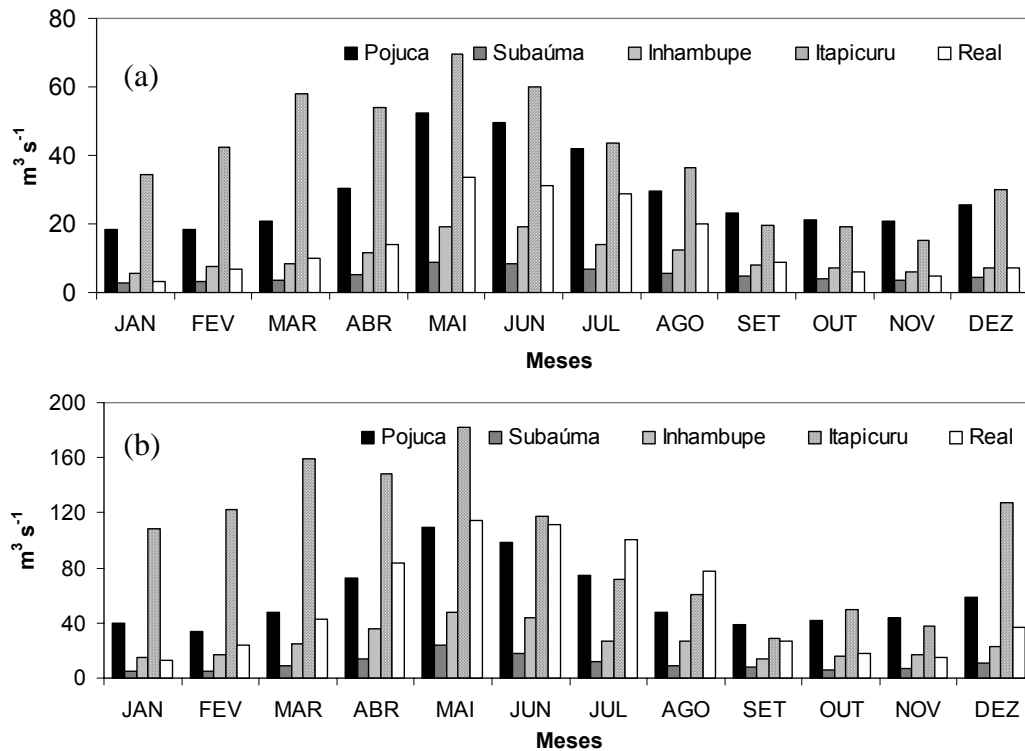


Figura 32 – Hidrogramas das descargas médias (a) e máximas (b) mensais dos rios do LNEB.

A frequência e intensidade das chuvas no litoral e na porção mais interior das bacias do LNEB têm comportamento distinto. A taxa da pluviosidade média de 1550 mm/ano da bacia do Rio Jacuípe não expõe a sua área a risco de secas severas. Entretanto, se considerarmos a vazão específica deste rio, ou seja, a relação da vazão pela área de drenagem da ordem ($18 l/s^{-1}/Km^2$) é elevada, se comparada com os demais rios do litoral norte (Figura 33). Este valor é quase três vezes superior a vazão específica do Rio Pojuca (segundo maior), com $6 l/s^{-1}/Km^2$. A vazão específica destes rios tende a diminuir em direção ao norte, o que é explicado pela redução da taxa de

precipitação no sentido S – N e pelo aumento da área das bacias inseridas no polígono das secas.

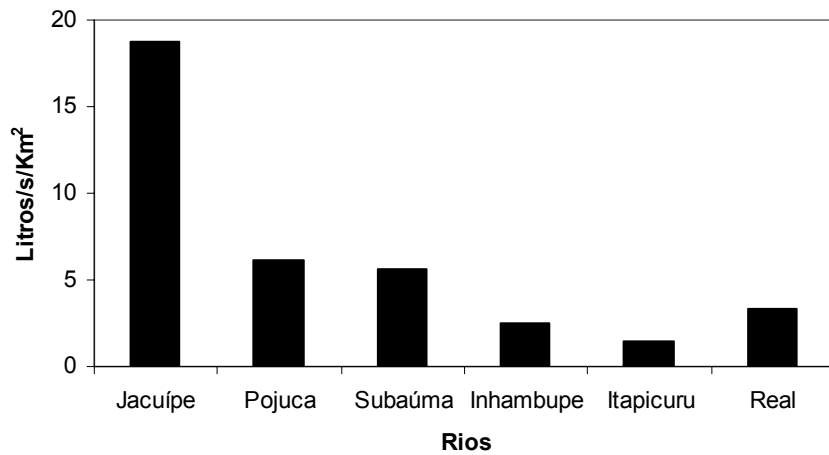


Figura 33 - Vazão específica dos rios do litoral norte do Estado da Bahia.

A ciclicidade hidrológica do rio Jacuípe parece abranger todo o LNEB. Os ciclos hidrológicos de baixa frequência foram sincrônicos com os demais rios deste litoral, apresentando intervalo de recorrência de 11-12 anos (Figura 34). As séries de vazões dos rios do LNEB demonstraram ter início em um ciclo crescente na década de 70, se mantendo até o final dos anos 80. A partir do seu ponto máximo (1970), entram em uma fase recessiva até o final da série, porém com gradiente menos acentuado na década de 90.

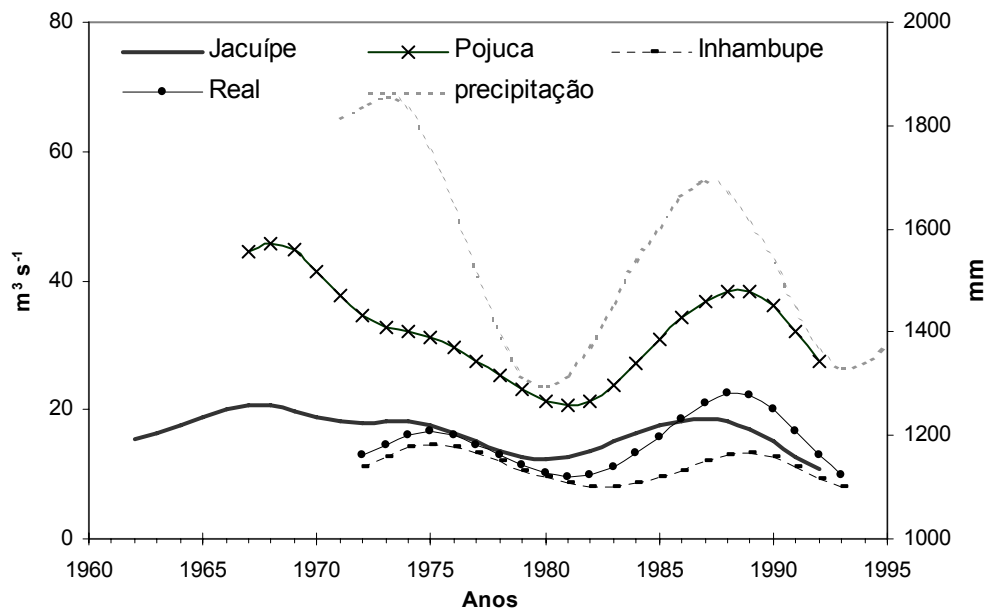


Figura 34 – Ciclos hidrológicos de baixa frequência (filtros de 10 anos) dos rios Jacuípe, Pojuca, Inhambupe e Real ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) e a linha tracejada se refere aos ciclos de baixa frequência precipitação do posto Emboacica (mm).

4.2. Batimetria

A topografia do leito estuarino é bastante irregular, tanto ao longo do canal como lateralmente, devido à morfologia meandante. A área de inundação é de 6.22 km² correspondendo a 90% da área do estuário, estando confinada na margem direita do canal estuarino.

De modo geral, o canal estuarino é estreito e raso, predominando as profundidades inferiores a 3 metros. Na área de menor profundidade, próxima à embocadura, afloraram barras arenosas associadas a um delta de maré enchente que ocorrem até a confluência com o Rio Capivara Grande. Ao longo do estuário, outra barra arenosa longitudinal fica emersa (entre os quilômetros 3 e 3.5), apenas durante a baixamar do período de sizígia.

Depressões de até 9.5 m, foram localizadas nos Km 4 e 5.5. A primeira depressão ocorre alinhada ao prolongamento da Falha de Salvador em direção ao litoral norte, com sentido NE/SW (paralelo à linha de costa), que inverte cerca de 90⁰, no sentido aproximado N/S, formando um cotovelo de borda de bacia. A segunda depressão ocorre também alinhada ao plano de falha N/S. Ambas coincidem com as margens de escavação do canal, devido à influência localizada dos meandros. Seguindo para montante aumentam as variações laterais, diretamente proporcionais ao aumento da sinuosidade (Figura 35a), definido como extensão do vale fluvial com a extensão do curso do rio, a partir de 15 km da foz. O estreitamento do canal estuarino é também observado entre 2 km e 5 Km da costa, quando a largura passa de 100 m para valores inferiores a 50 m (Figura 35b). Um perfil topográfico do talvegue do canal foi traçado da embocadura, adentrando os 15 km no estuário, para demonstrar as variações batimétricas (Figura 35c). O mapa batimétrico pode ser visualizado na figura 36.

A altura máxima de 1.27 m no estuário do Rio Jacuípe corresponde a um prisma com volume de 4,81 x 10⁶ m³. Já o prisma de quadratura referente a uma maré de 0.70m é de 2,69 x 10⁶ m³. O volume inframareal é de 1.96 x 10⁶ m³ (Figura 3). O volume total do estuário (prisma de sizígia mais o volume inframareal) foi de 6.77 x 10⁶ m³.

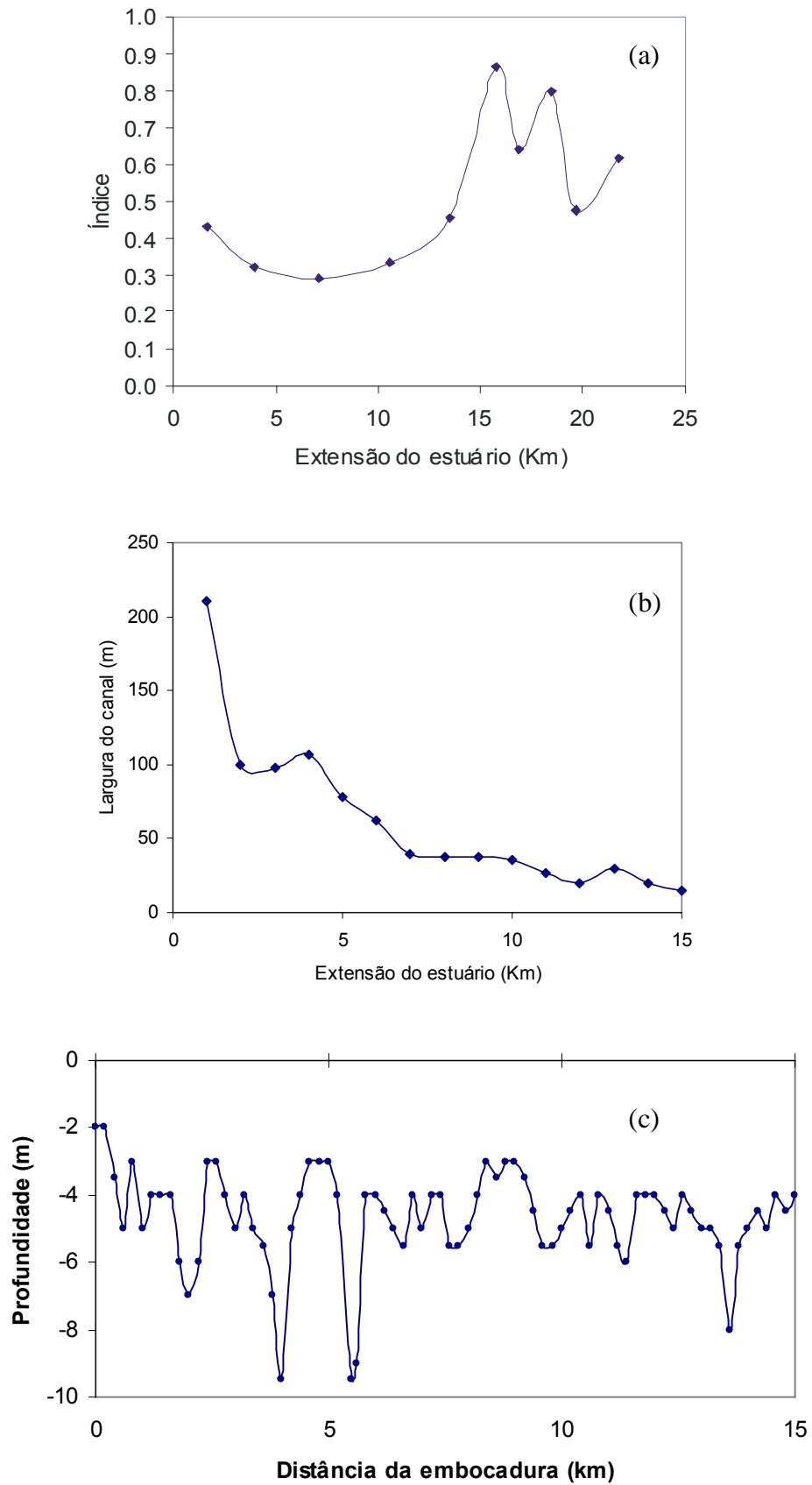


Figura 35 - Variação do índice de sinuosidade (a), largura do canal (b) e a profundidade do talvegue ao longo do estuário.

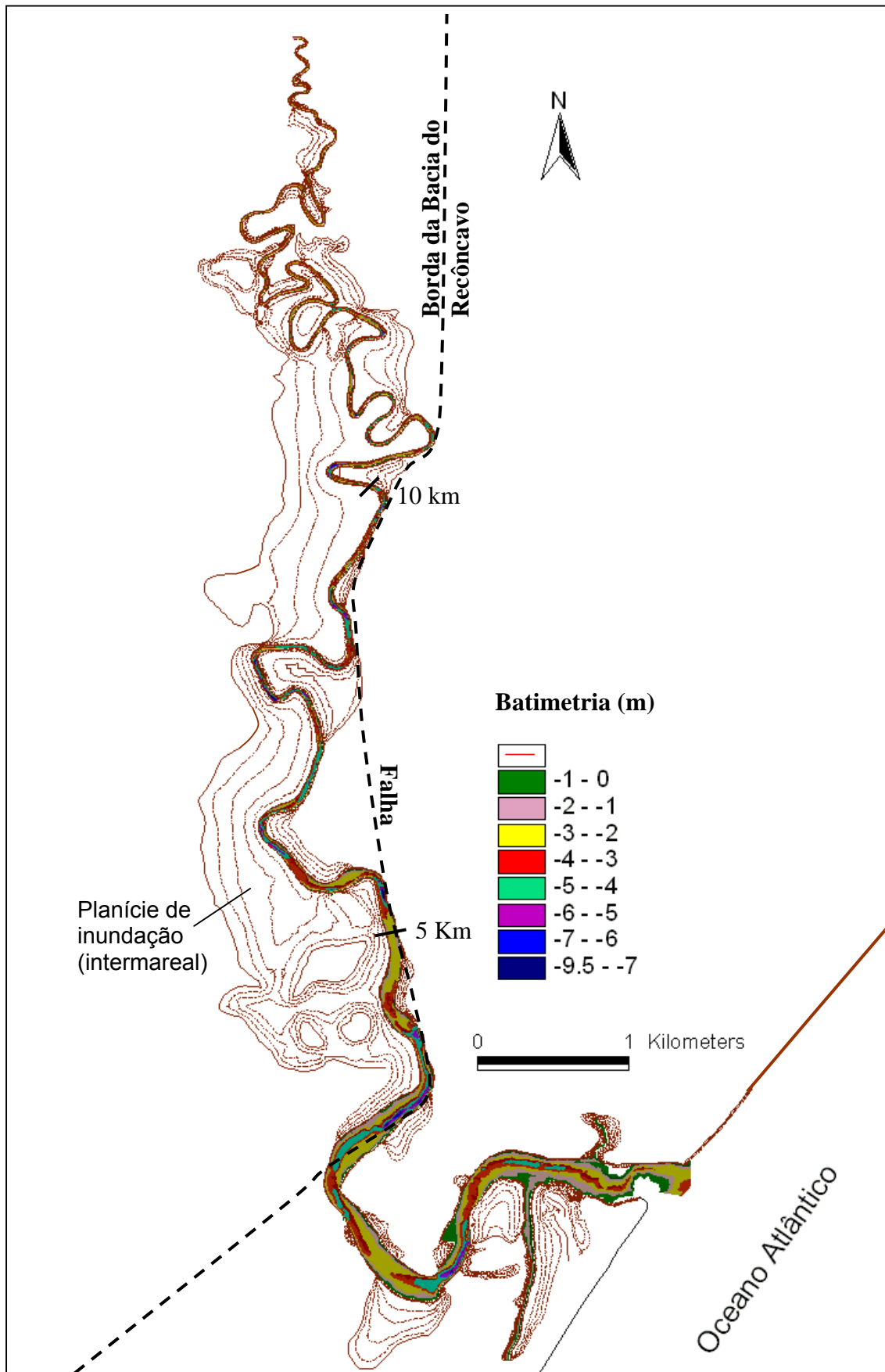


Figura 36 - Mapa batimétrico do estuário do Rio Jacuípe. As linhas em vermelho, referem-se as curvas de nível projetadas com equidistância de 0.10m a partir da borda do canal estuarino. A linha pontilhada foi proposta para delimitação da borda da Bacia do Recôncavo.

4.3. Sedimento de Fundo

De modo geral, a classe textural predominante no estuário do Rio Jacuípe foi areia, com exceção da amostra 7 (localizada na porção distal ao Rio Capivara Grande), classificada como areia lamosa (Figura 38c). O diâmetro médio das amostras varia entre areia média (2ϕ) e areia fina (3ϕ), sendo que estas duas frações juntas totalizam mais de 90% da composição textural das amostras. Vale ressaltar que apesar das amostras terem sido coletadas em períodos distintos (inverno e verão), estas não podem ser comparadas estatisticamente quanto a sua variação textural, devido a diferença dos pontos de coleta (meandros e porção retilínea).

Na desembocadura, o delta de maré de enchente é composto por areia média quartzosa, bem selecionada (leque de areia identificado em foto aérea – Figura 37). Esta feição se estende até próximo da foz do Rio Capivara Grande, com granulação bastante diversificada, variando desde a fração de areia muito fina (4ϕ), encontrada na sua margem esquerda e areia grossa (1ϕ) na porção distal deste afluente. A partir deste ponto, alternam-se as fácies de areia média e fina até a cabeceira do estuário (Figura 38a).



Figura 37 - Barra de desembocadura do estuário do Rio Jacuípe, mostrando em detalhe (seta) o delta de maré enchente.

As amostras variam de moderadamente (maior parte) a pobremente selecionado, sendo que este último localiza-se próximo dos meandros, preferencialmente nas margens côncavas do canal (Figura 38b). A presença de cascalho em 7 amostras (amostras 14, 16, 19, 20, 25, 31, 68 – ver figura 14) explica o mal selecionamento destas. Neste caso, o cascalho é constituído por fragmentos de bioclastos e vegetais. A amostra 68, em especial, é a única que possui mais de 20% de cascalho, sendo este formado de fragmentos de arenito. É necessário salientar um afloramento conglomerático, prolongando-se do leito para a margem direita do canal, a 7 km da costa (amostra 53), ressaltando-se a ocorrência de colônias de briozoários estuarinos incrustando o material.

Em 15 amostras, o mau selecionamento do sedimento está associado à maior percentagem de lama, misturada à fração de areia fina e muito fina. A maior parte dos sedimentos finos, considerando as amostras com percentual superior a 5% de lama, é constituída da fração silte grosso (5 ϕ) com pouco ou inexistente teor de argila (Anexo 4). As áreas preferenciais de deposição da areia fina e muito fina, contendo inclusive um maior percentual de sedimentos pelíticos (> 5%), ocorrem nos 8 km iniciais do estuário (Figura 41).

A variação textural das amostras deve refletir nas variações da energia hidrodinâmica do ambiente. As amostras estão representadas pelo grupo A-III e A-IV, que correspondem com mais de 90% de areia e que foram depositadas sob condições hidrodinâmicas elevadas, sendo que todas as amostras indicaram uma classificação de energia alta e muita alta (Figura 40d), de acordo com o *Diagrama de Perjurup* (1988).

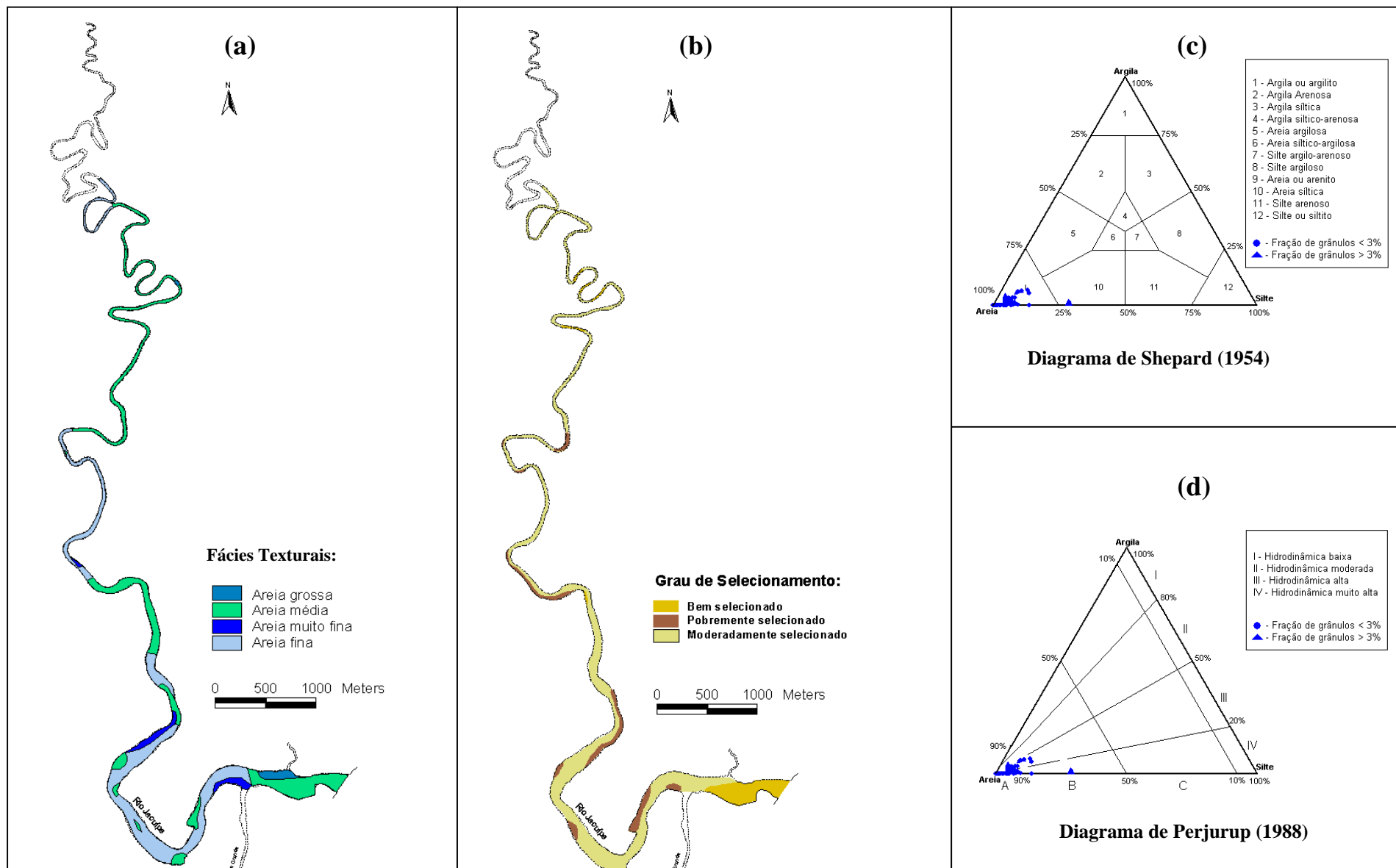


Figura 38 - Classificação do sedimento de fundo do estuário do Rio Jacuipé: distribuição de fácies texturais (a), selecionamento (b), textura (c) e energia hidrodinâmica (d).

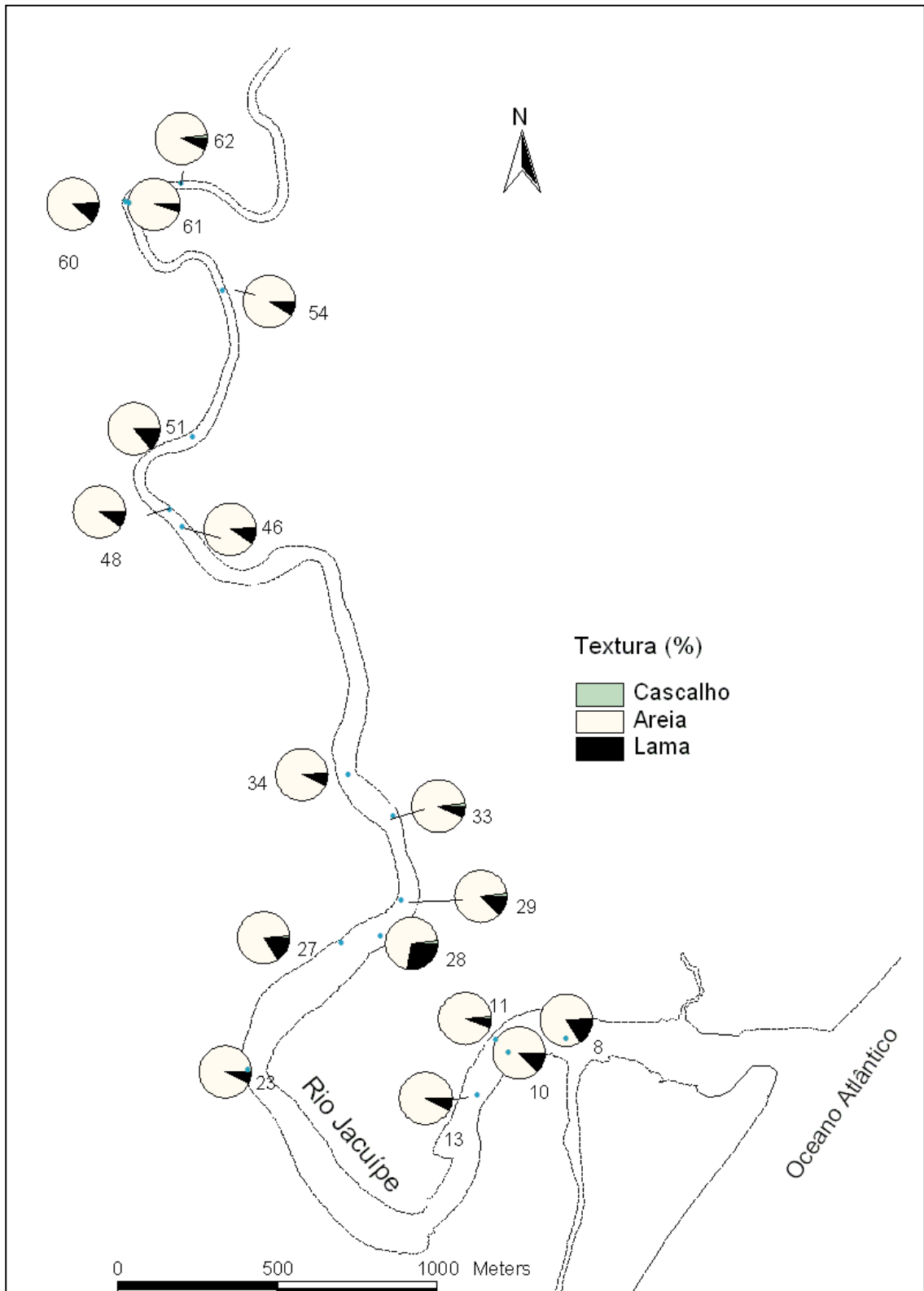


Figura 39 - Amostras com predominância de areia fina a muito fina nos primeiros 10 Km do estuário, com percentual de lama acima de 5%.

A composição mineralógica do sedimento de fundo do estuário do Rio Jacuípe é caracteristicamente siliciclástica, com preponderância de quartzo em toda a extensão do estuário (Figura 40). Em menor quantidade, observa-se a presença de bioclastos e fragmentos vegetais nas frações areia e cascalho.

O material bioclástico encontrado no estuário possuem duas características distintas. Próximo da desembocadura este é estritamente marinho (fragmentos de alga calcária e moluscos, além de micro gastrópodos). Já entre os Km 1 e 3.5, os bioclastos são de origem estuarina, observando-se ostras típica do manguezal (*Crassostrea*) e a presença de *Anomalocardia brasiliana*, espécies comum em ambientes estuarinos, ambas resistentes às grandes variações de salinidade.

Uma grande quantidade de fragmento de origem vegetal (manguezal), de baixa densidade, com textura variando da fração areia a cascalho, sem a presença de biodetritos, concentra-se entre os quilômetros 5 e 9 (Figura 40b), capeando areias siliciclásticas. Uma área mista, onde são encontrados juntos fragmentos bioclastos e vegetal é observada a jusante do Km 5.

Sedimentos com características de maior influência fluvial, sem a presença de matéria orgânica e biodetritos, grãos mais angulosos e pouco arredondados, ocorrem a partir de 9 km até a cabeceira do estuário. Uma janela estratigráfica correspondente a esta fácies é encontrada um quilômetro mais a jusante desta área. Na amostra mais interna (75), observou-se a presença de minerais pesados e de quartzo envolto com uma película de óxido de ferro.

Com base nas características composicionais e de textura acima é sugerida a existência de quatro áreas, com composições sedimentares características, no trecho estuarino estudado (Figura 40a), sendo elas:

Área 1 - Areia Siliciclástica;

Área 2 - Areia Siliciclástica com fragmentos vegetal;

Área 3 - Areia Siliciclástica mista - com fragmentos vegetal e bioclástico.

Área 4 - Areia Siliciclástica com bioclastos;

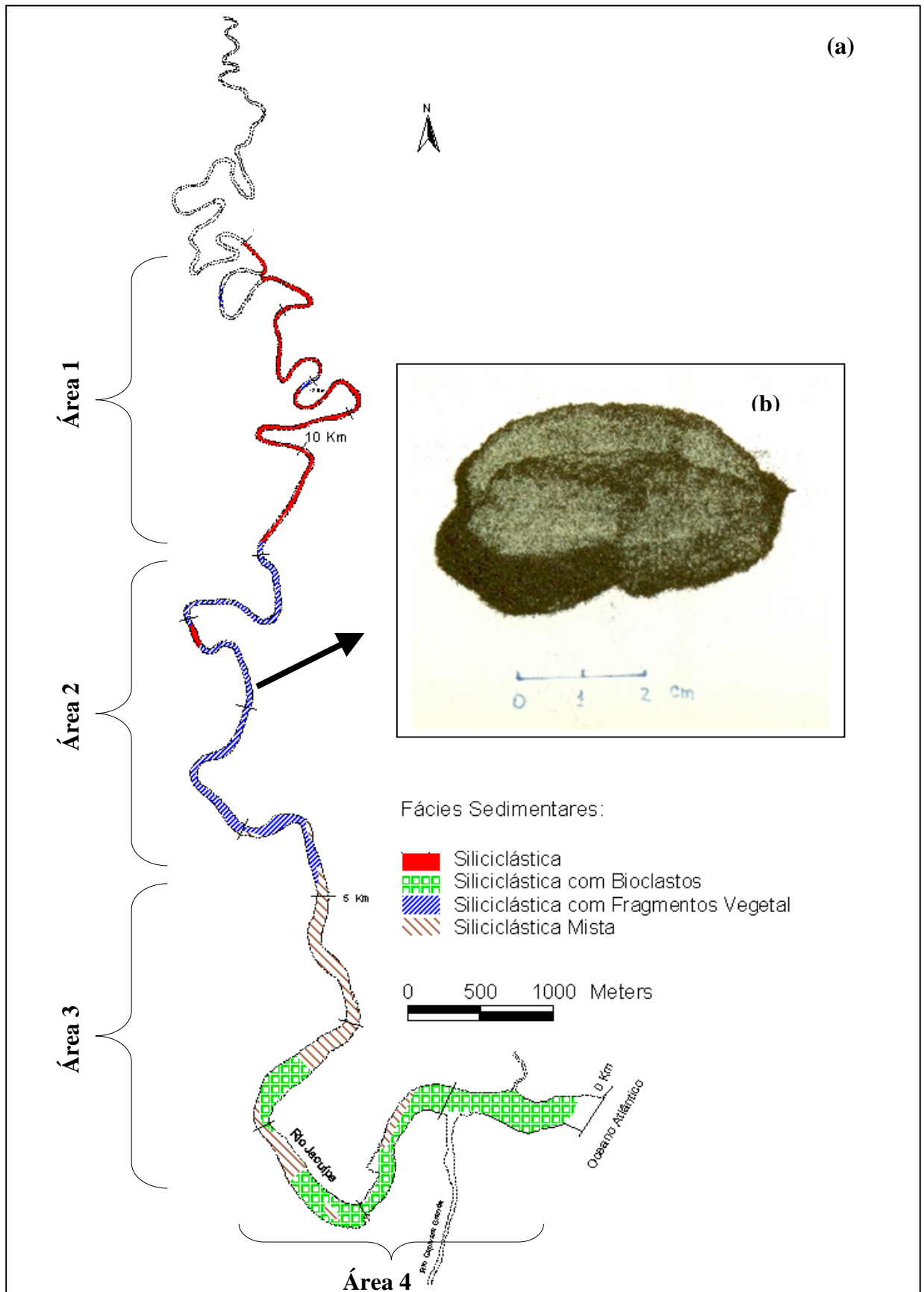


Figura 40 - Composição das fácies sedimentares do estuário do Rio Jacuípe (a) e o detalhe da fácies siliciclástica (areia média), com fragmentos vegetal localizada na ZTM (b).

4.4. Marés

4.4.1. Maré astronômica

A altura média da maré oceânica dada pelo somatório dos constituintes harmônicos em Praia do Forte, é de 1,41 m (anexo 5). A soma dos principais componentes harmônicos da maré (M_2 e S_2) permaneceu inferior a altura média da maré. A altura média de sizígia $2(M_2 + S_2)$ é de 1.86 m, e em quadratura $2(M_2 - S_2)$ de 0.82 m. A altura máxima da maré é de 2.4 m (mesomaré).

A análise harmônica forneceu 36 constituintes, sendo que os dois principais componentes *semidiurnos* M_2 (*lunar*) e S_2 (*solar*) representam juntos (0.55 m) cerca de 53.4% da soma de todas as constantes, igual a 1.03 m (anexo 6). A componente de maior amplitude, a lunar principal (M_2), apresentou amplitude de 0.43 m, sofrendo atraso de fase em 0.38h e atenuação de 0.14 m, em relação à maré oceânica. As demais componentes principais acompanham a característica de defasagem, tendo S_2 sofrido atraso e amortecimento de 0.56 h e 0.14 m, respectivamente. Observou-se defasagem com os demais constituintes harmônicos, porém, com menor expressão de tempo.

A maré no estuário é caracteristicamente semi-diurna (com *número de forma* $\approx 0,095$) e hiposincrônica, sendo amortecida em média em 0,37 m até o marégrafo #1 (5,5 km da foz), e assim se mantém para montante. A atenuação da maré oceânica varia entre os períodos de sizígia e quadratura, apresentando amortecimento médio de 0,75 m e 0,21 m, respectivamente. O mesmo ocorre com a defasagem entre a preamar e baixamar, que têm seu extremo em sizígia, com atraso de 1:30 h na preamar e 2 h na baixamar. O atraso médio da maré entre os marégrafos #1 e #2 (distantes 5 km) foi de cerca de 1:10 h em sizígia, com um pequeno amortecimento de 0,07m. Entre sizígia e quadratura a altura da maré observada na estação #1 foi de 1,20 m e 0,60 m, respectivamente (Figura 41). O efeito da maré dinâmica deixa de ser percebido a 25 km da foz, aproximadamente 2 km a jusante do povoado de Emboacica (dado observado na ponte sobre a BA-545, dia 25/05/2005, na preamar de sizígia, com descarga fluvial de $15,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$).

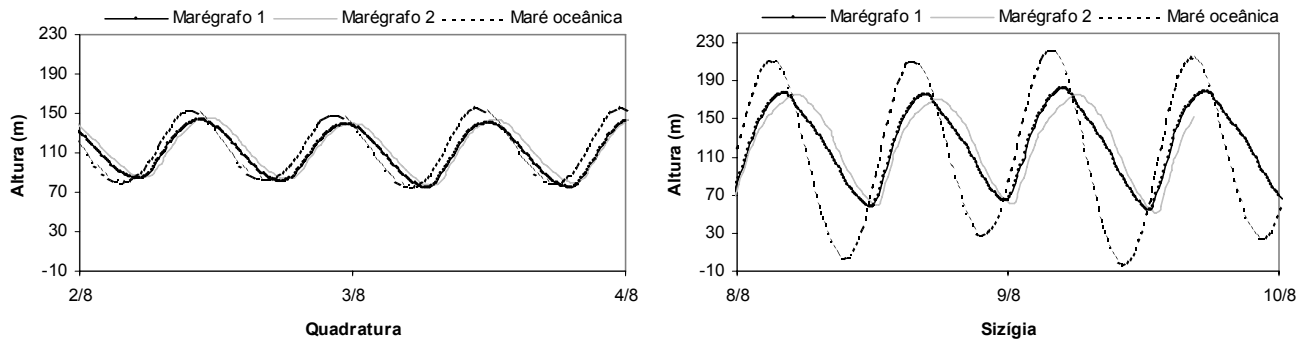


Figura 41 - Propagação da maré oceânica no estuário entre os períodos de quadratura (a) e sizígia (b), em agosto de 2002.

A altura média da maré observada foi de 0.93m (permanência de 50% - figura 42), sendo os respectivos valores mínimo e máximo de 0.50m e 1.27m. A altura média da maré prevista no interior do estuário foi de 1,03 m. Para o período de sizígia, a média obtida pela relação $2(M_2 + S_2)$ correspondeu a 1.11 m e, em quadratura, pela relação $2(M_2 - S_2)$ de 0.61 m. O máximo observado para sizígia e quadratura foi de 1.27 m e 0.91 m, respectivamente.

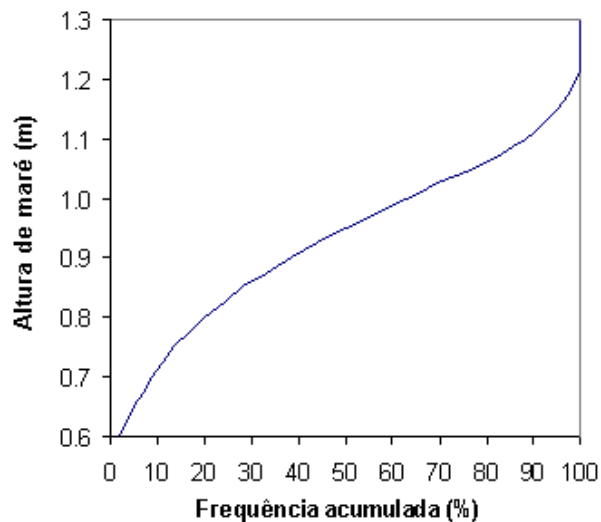


Figura 42 – Alturas de marés registrada na estação maregráfica 1, entre 03/05 a 10/08 de 2002 (a) e a curva de permanência acumulada referente a este intervalo de dados (b).

4.4.2. Assimetria e prisma de maré

A distorção vertical da maré pode ser representada pela interação das componentes M_4 e M_2 , onde o grau de assimetria vertical é dado pela amplitude destas componentes. Ao mesmo tempo que a amplitude de M_2 é reduzida em aproximadamente 60% da amplitude oceânica, a amplitude de M_4 dobra no interior do estuário. A razão M_4/M_2 passa de 0,04 no oceano para 0,13 na estação 1, refletindo o processo de distorção da onda de maré. O comportamento da fase das componentes harmônicas M_4 e M_2 , descrito por $2(M_2-M_4) = 30^\circ$ indica a assimetria positiva, com tempo de subida da maré mais curto.

A variação da razão do tempo de enchente e vazante junto a altura da maré, mostra que a assimetria acentua-se com o aumento da altura de maré. As desigualdades entre o tempo de enchente e vazante foram superiores a 1 ½ horas, com média de 5:35h para a enchente e 7:08h para a vazante (Figura 43). Em sizígia, a subida teve duração de 5h e a descida 7:20h. Por outro lado, a descarga fluvial igual a $180 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (11/05/02) proporcionou o truncamento da maré, tornando a assimetria da maré negativa, com tempo de enchente de 6h e vazante de 5:40h (Figura 44). Os valores extremos de assimetria ocorreram com uma altura de maré de 1.8m (em 13/05/02). Neste caso, o tempo de subida de 4.5h foi o mais rápido, enquanto que o tempo máximo de descida foi de 8h (Figura 44). Observa-se também, a diminuição da taxa de elevação (subida) da maré durante a enchente (próximo da preamar) com a inundação do manguezal (Figura 46).

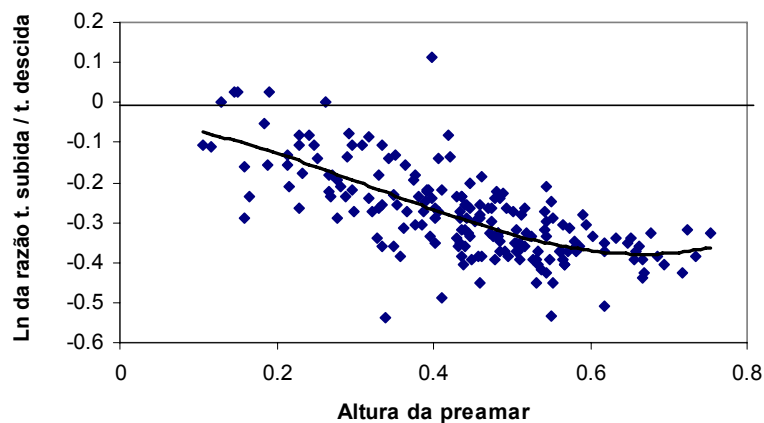


Figura 43 - Logaritmo natural da razão do tempo de enchente e vazante pela altura da preamar

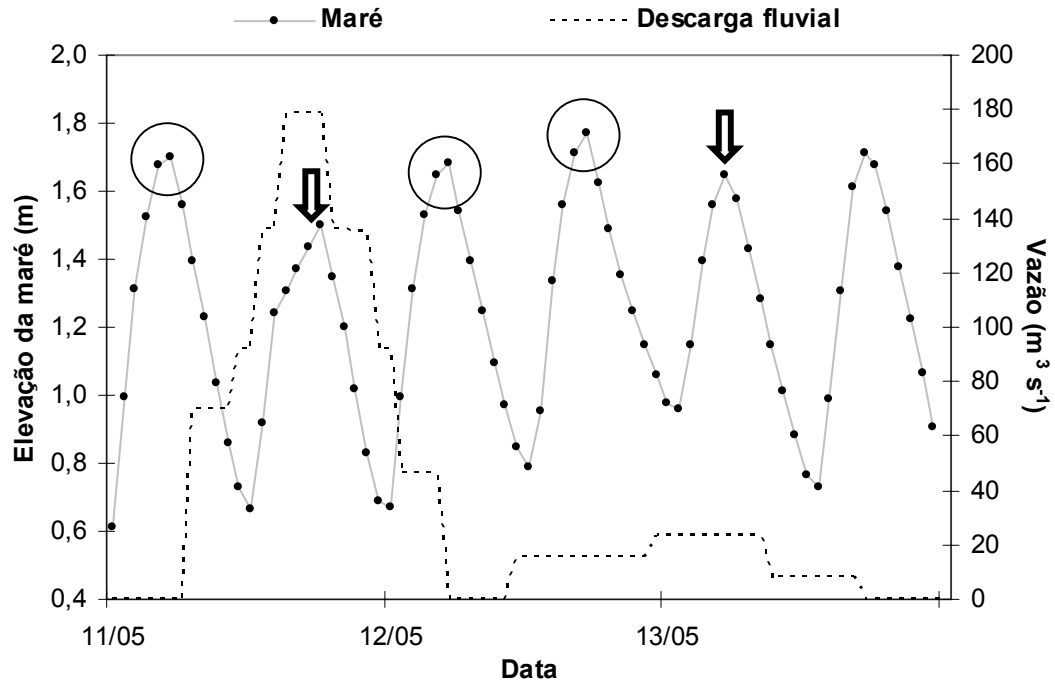


Figura 44 – Truncamento da maré (seta da esquerda) proporcionado pela intensa descarga fluvial no dia 11/05/02 e valores extremos no tempo de subida (curta) e descida (longa) da maré (seta da direita). Os círculos referem-se a diminuição da taxa de subida da maré, registrado no marégrafo 1.

4.4.3. Marés meteorológicas

A maré astronômica explica 89% da variação do nível d'água. O percentual restante se deve às perturbações hidrometeorológicas, ocorridas na frequência submareal. Para analisar a influência destes ciclos selecionaram-se as duas maiores oscilações, registradas entre os monitoramentos de 15 e 30 de maio de 2002. Neste mês (período úmido) foram observadas as maiores e menores oscilações da maré em relação ao nível médio (1,10m), atingindo 0,25m acima e 0,15m abaixo deste (Figura 45). Após a aplicação dos filtros *passa-baixo* nos dados de maré, descarga fluvial e de vento (próximo à costa), fica claro a presença de ciclos com duração semanal. Com a análise, constatou-se que o vento teve um papel importante no empilhamento e amortecimento de água na costa. Ventos de N-NE deprimiram o nível médio, enquanto ventos de S-SE (Figura 46) elevaram o nível médio em 0,25m. A correlação entre a série temporal de ventos (componente U e V) e maré foi superior a 86%. Observou-se que efeito destes ciclos de baixa frequência tem influência na assimetria da maré. O abaixamento observado no início da série (dias 03 a 05 de maio) tornaram as marés simétricas com tempos de subida iguais aos tempos de descida (6:30h).

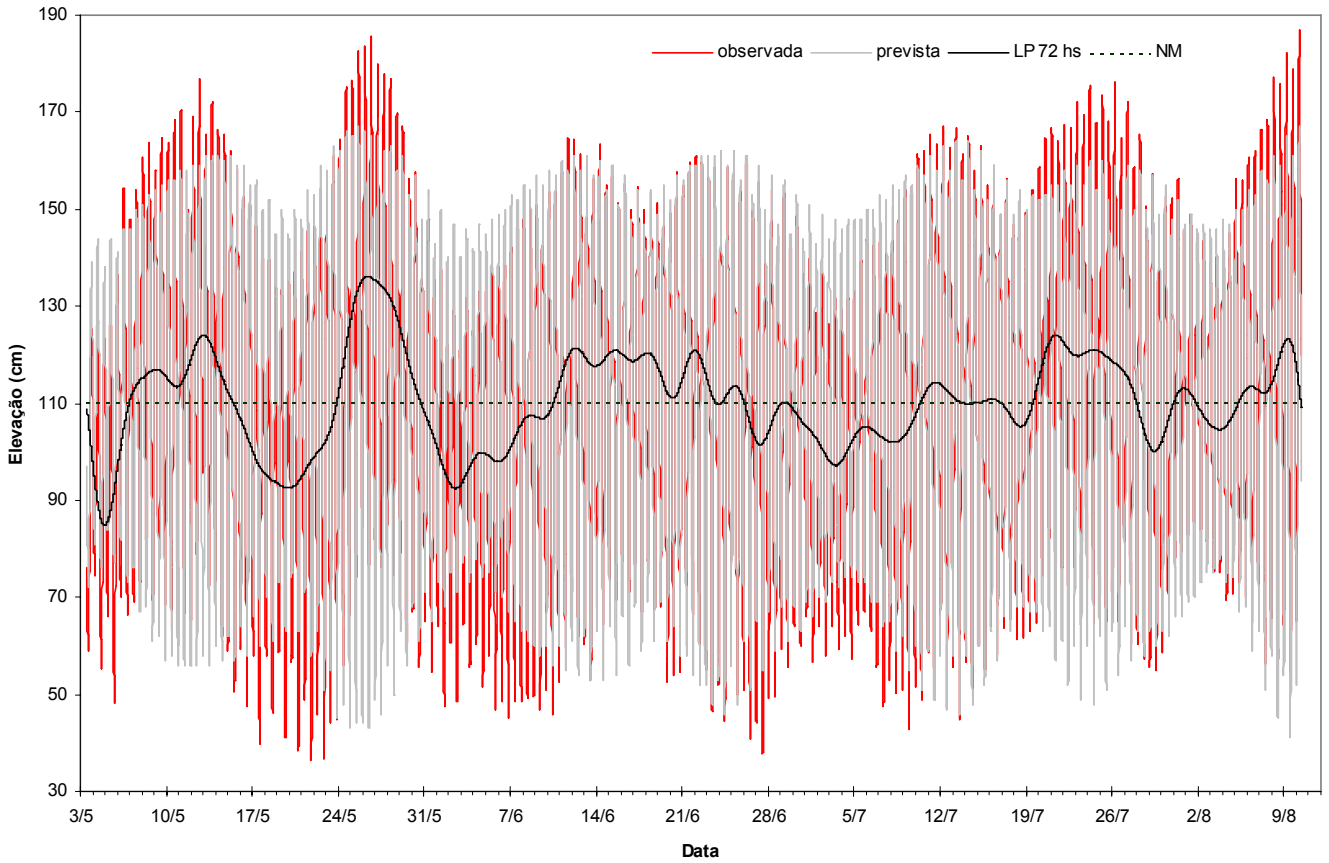


Figura 45 - Marégrama da estação 1 do estuário do Rio Jacuípe, com dados coletados entre maio e agosto de 2002, mostrando as oscilações de alta frequência da maré (linha vermelha) e baixa frequência (linha preta), em relação com ao nível médio (linha horizontal tracejada).

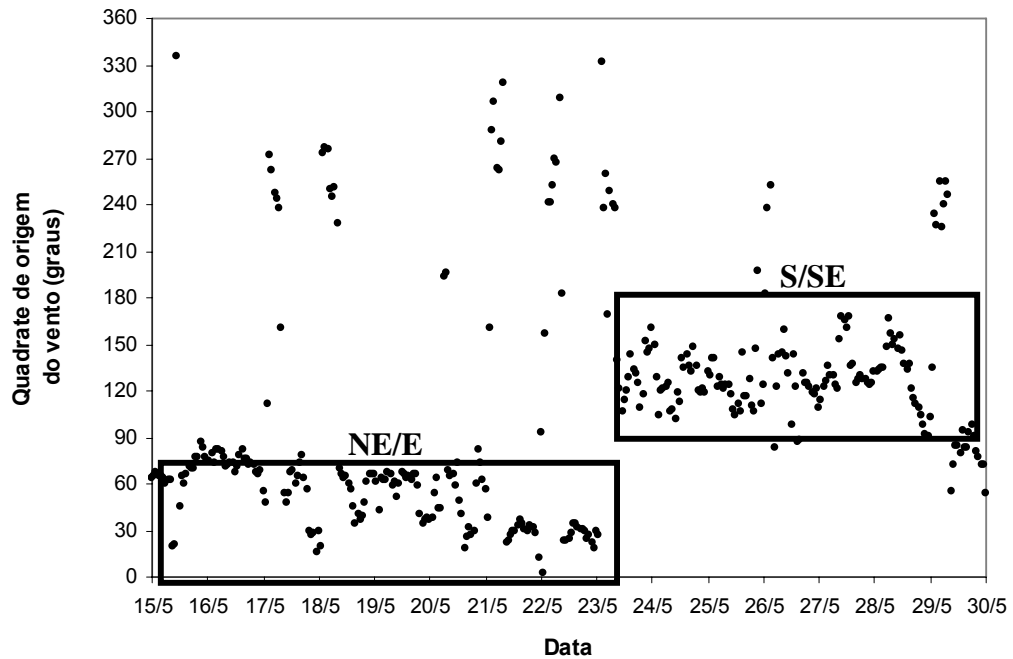


Figura 46 – Direção do vento junto a costa no LNEB, entre 15 e 30 de maio de 2002. Os retângulos se referem à concentração dos ventos oriundos dos quadrantes NE/E e S/SE.

4.5. Monitoramento longitudinal da coluna d'água

4.5.1. Salinidade

De modo geral, no monitoramento de setembro de 2001, o gradiente longitudinal de salinidade obedeceu às variações da maré e da descarga fluvial, observando-se duas condições de mistura estuarina. A primeira condição, de parcialmente misturado, predominou durante o ciclo de quadratura, entre os dias 07 e 14 (Figura 47). Na ausência da descarga fluvial, na preamar, a coluna d'água permanece parcialmente misturada, com gradiente vertical de salinidade da ordem de 5 / 0,5 m, enquanto que na baixamar esta estratificação aumenta para 5 / 0,3 m. Neste período, o sal ficou concentrado nas depressões topográficas, não sendo expulso devido às baixas velocidades de corrente e ausência de sua atuação nas depressões. A salinidade em quadratura atingiu o valor máximo de 30, observado até 4 Km da desembocadura, tornando-se zero em toda a coluna d'água, a partir do Km 7.

Com a aproximação do período de sizígia, o estuário se tornou bem misturado, com a homogeneização da coluna d'água, observando-se apenas o gradiente longitudinal de salinidade, de 5 / km. Na baixamar, os valores máximos de salinidade foram inferiores se comparados com os valores em quadratura, com o máximo de 20 (2 Km da desembocadura) e seu limite a 7 Km. Na preamar, o gradiente longitudinal entre 30 e 5 foi mais uniforme a cada quilometro, ampliando-se a extensão da zona de mistura estuarina para 16 Km (Figura 47). Este limite da intrusão salina deve mais amplo, como mostra a faixa de transição entre a vegetação halófito (manguezal) do gênero *Avicenia s.p.* (km 16) com a vegetação limnimética. A permanência deste gênero de manguezal, com árvores de grande porte indicam que penetração do sal ocorre até aquele trecho.

Condições de elevada vazão ocorreram no período de sizígia, entre os dias 20 e 21 de setembro de 2001, com respectiva descarga de $86 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $54 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Dado o pequeno volume inframaré, a coincidência da descarga fluvial com a maré vazante expulsou o sal do estuário na baixamar. Já na preamar, mantida a vazão, a penetração do sal foi limitada aos 7 Km iniciais do estuário (Figura 48).

Vale ressaltar que a redução da salinidade ocorrida em toda a coluna d'água, a aproximadamente no km 2, entre os dias 15 e 18 de setembro (Figura 48), pode ter sido por influência da vazão de base (zona de recarga de água doce proveniente do lençol freático), haja visto que a falha geológica que limita a Bacia do Recôncavo recorta este trecho do rio.

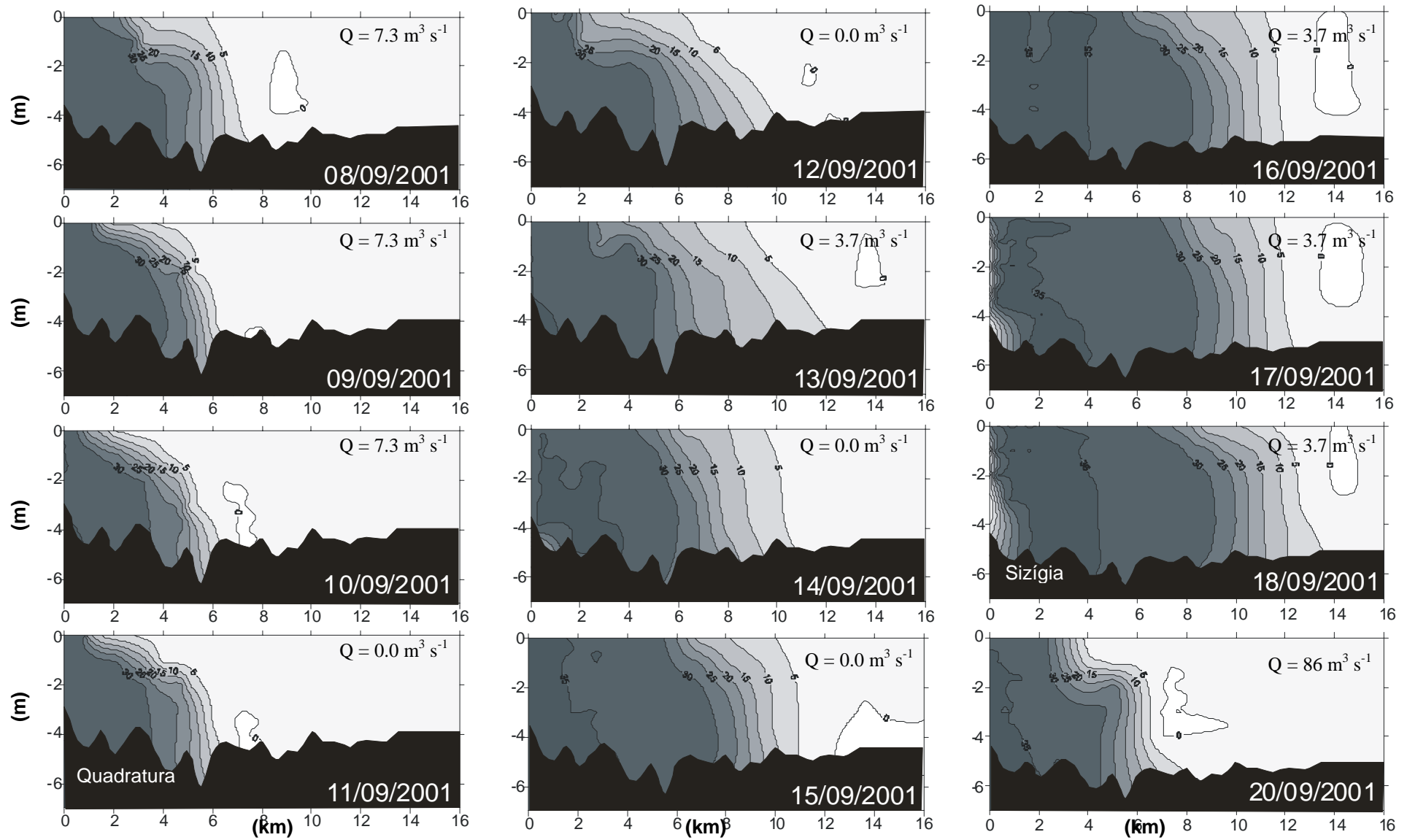


Figura 47 - Perfis de salinidade do estuário do Rio Jacuípe, em setembro de 2001 – preamar

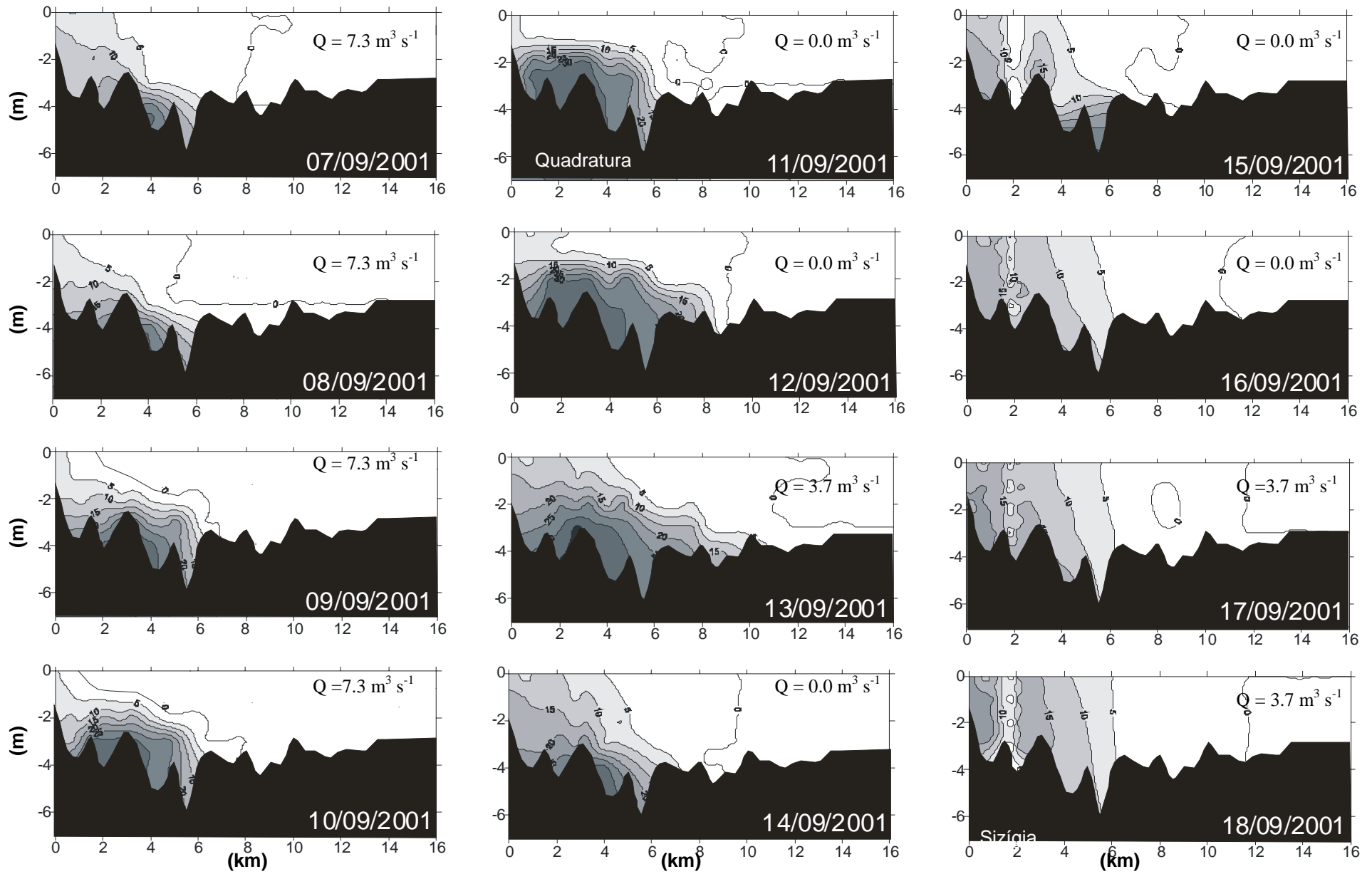


Figura 48 - Perfis de salinidade do estuário do Rio Jacuípe, em setembro de 2001 – baixamar

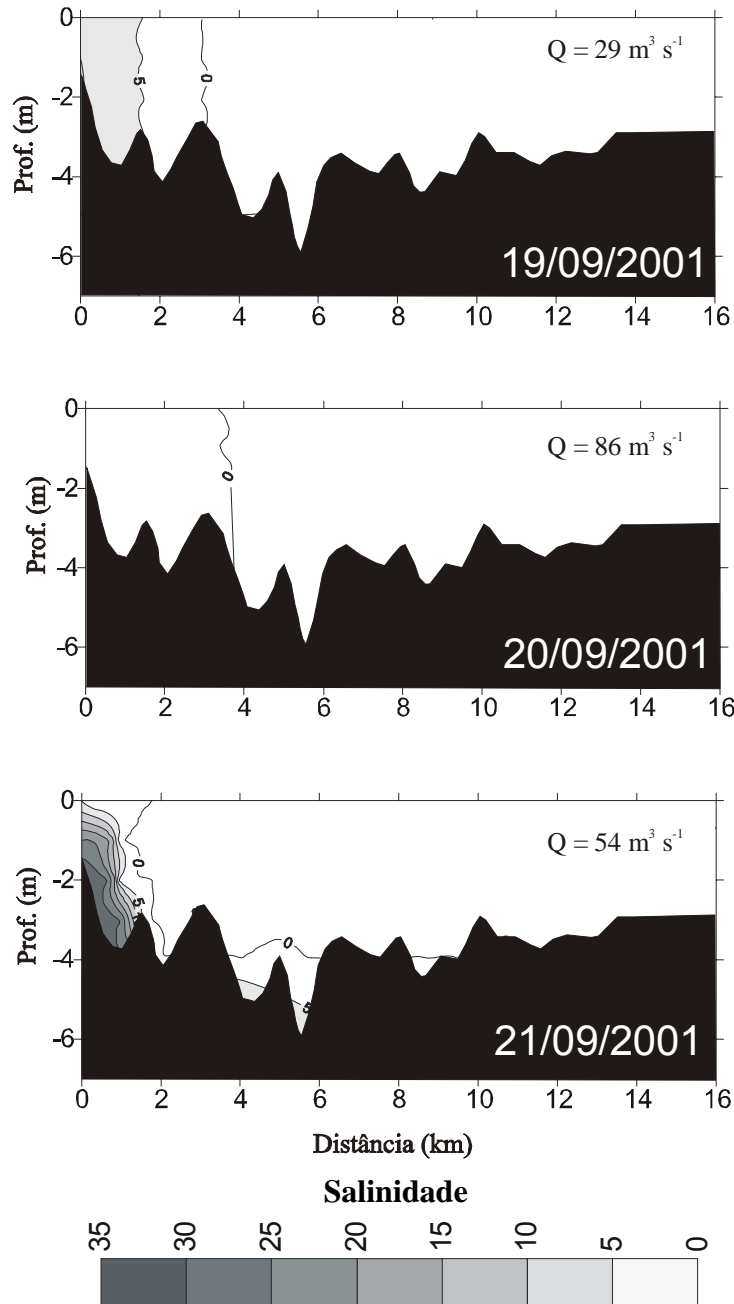


Figura 48 (continuação) – Perfis de salinidade do estuário do Rio Jacuipé, em setembro de 2001- baixamar.

Quanto à média de salinidade para as diferentes profundidades da coluna d'água, ao longo do estuário, na baixamar, predominou o ambiente mesohalino nos 5km iniciais e, a partir daí até o km8, o ambiente *oligohalino*. Com a intrusão salina, o ambiente *euhalino* passou a ser observado até o km 5. O efeito do gradiente longitudinal de salinidade demarcou os ambientes *polihalino*, *mesohalino* e *oligohalino* entre os Km 7, 9,5 e 13, respectivamente. A partir deste trecho predominou a água doce. Um resumo da faixa de transição (em quilômetros) destes ambientes pode ser observado na tabela 10.

Tabela 10 - Faixas de transição de salinidade para o estuário do Rio Jacuípe (em km), de acordo com o *Sistema Venice*.

Ambientes	Baixamar	Preamar
Euhalino	-	0 - 5
Polihalino	2 - 4	1 - 7
Mesohalino	0 - 7	4 - 9.5
Oligohalino	4 - 8	9.5 - 13
Água doce	A partir de 8	A partir de 13

A posição da isohalinas apresentou estreita correlação com a descarga fluvial, elevação do nível d'água e precipitação. Uma correlação múltipla com estas variáveis, considerando a isohalina de zero (limite da intrusão salina) apresentou coeficiente de correlação de 77%. O mesmo ocorreu com a isohalina de 5 (eq. 2 e 3), com coeficiente de correlação na superfície de 0.74 (sendo significativa $p = 0.034$) e, no fundo de 0.82, (sendo extremamente significativa $p = 2.0^{-8}$). A melhor correlação junto ao fundo deve-se à menor influência do aporte de água doce (Figura 49), o qual afeta preferencialmente a superfície e torna o estuário estratificado, já que o período utilizado como modelo foi bastante úmido. A tabela 11 relaciona as variáveis utilizadas no cálculo, comparando-se o observado e simulado para a máxima intrusão salina. As equações associadas a cada uma das regressões são:

$$(eq. 1) \text{ Intrusão máxima (km)} = 7.519 - 0.128 \times \text{vazão} + 0.015 \times \text{elevação} + 0.076 \times \text{precipitação};$$

$$(eq. 2) \text{ Isohalina 5 superfície (km)} = 2.0 - 0.09 \times \text{vazão} + 0.028 \times \text{elevação} + 0.071 \times \text{precipitação};$$

$$(eq. 3) \text{ Isohalina 5 fundo (km)} = 5.59 - 0.06 \times \text{vazão} + 0.025 \times \text{elevação} + 0.004 \times \text{precipitação}.$$

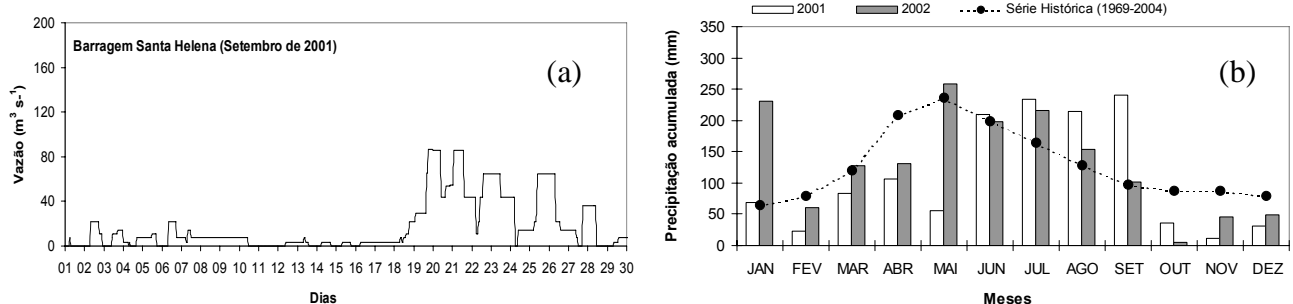


Figura 49 – Descarga da Barragem Santa Helena em setembro de 2001 (a) e precipitação mensal durante os monitoramentos, comparados com média histórica (b).

O modelo utilizado para a estimativa da intrusão salina apresentou erros significativos, apesar da estreita correlação com as variáveis. Este fato decorreu, provavelmente, pela influência da embocadura em deformar a onda de maré, variável esta não acompanhada neste estudo.

Tabela 11 – Extensão da intrusão salina entre a preamar (PM) e baixamar (BM), juntamente com os dados de vazão da BSH (12 horas anterior a perfilagem), elevação da maré oceânica prevista e precipitação do dia anterior.

	Intrusão máxima (km)	Limite oligohalino (km)	Limite oligohalino (km)	Vazão da BSH ($m^3 s^{-1}$)	Elevação (cm)	Precipitação (mm)	Intrusão máxima prevista (km)	Erro	Limite oligohalino prevista (km)	Erro	Limite oligohalino prevista (km)	Erro
	0 ups fundo	superfície	fundo	12 horas antes		dia anterior	fundo		superfície		fundo	
07/09/2001	6	2.4	6.2	7.3	45	2	7.5	26%	2.7	54%	6.3	5%
08/09/2001	8	6	7.5	7.3	184	0	9.8	22%	6.5	8%	9.8	63%
08/09/2001	6	0.5	6.2	7.3	57	0	7.6	27%	2.9	51%	6.6	10%
09/09/2001	7	4	6.2	7.3	172	13	10.5	51%	7.1	18%	9.5	58%
09/09/2001	6	0.5	6	7.3	58	13	8.6	43%	3.9	35%	6.7	11%
10/09/2001	7	2	6.5	7.3	161	0	9.4	34%	5.9	2%	9.2	53%
10/09/2001	6	0.1	6.2	7.3	67	0	7.8	29%	3.2	46%	6.8	14%
11/09/2001	7	3	6.3	0	156	0	10.2	45%	6.4	6%	9.5	58%
11/09/2001	6	0.3	6.5	0	70	0	8.7	45%	4.0	34%	7.3	22%
12/09/2001	11	6.2	10	0	163	0	10.3	7%	6.6	9%	9.7	61%
12/09/2001	9	2	8.3	0	61	0	8.5	5%	3.7	38%	7.1	19%
13/09/2001	12	8.6	12	3.7	177	0	10.1	16%	6.6	10%	9.8	63%
13/09/2001	11	4	11	3.7	43	0	7.8	29%	2.9	52%	6.4	7%
14/09/2001	12	9.5	10.5	0	194	0	10.8	10%	7.4	24%	10.4	74%
14/09/2001	8	4	7	0	24	0	7.9	1%	2.7	55%	6.2	3%
15/09/2001	12	10	10.8	0	209	0	11.1	8%	7.9	31%	10.8	80%
15/09/2001	8	3.8	6.5	0	6	0	7.6	5%	2.2	64%	5.7	4%
16/09/2001	13	11.5	12	3.7	220	0	10.8	17%	7.8	30%	10.9	81%
16/09/2001	10	5.2	6.2	0	-6	0	7.4	26%	1.8	69%	5.4	9%
17/09/2001	13	11.5	12.2	3.7	225	0	10.9	16%	8.0	33%	11.0	83%
17/09/2001	11	5.6	6.2	3.7	-12	0	6.9	38%	1.3	78%	5.1	16%
18/09/2001	14	11.5	14	3.7	225	37	13.7	2%	10.6	76%	11.1	86%
18/09/2001	11	6	6	3.7	-11	37	9.7	12%	3.9	34%	5.2	13%
19/09/2001	8	1.5	1.5	22	-2	46	8.3	4%	3.2	47%	4.4	27%
20/09/2001	7	3.9	8	86	207	55	4.9	30%	3.9	35%	5.8	3%
20/09/2001	0.1	0	0	86	13	55	1.6	30%	-1.5	125%	1.0	84%
21/09/2001	2	0	1.8	54	32	37	4.4	119%	0.6	90%	3.3	45%

4.5.2. Turbidez

Na campanha de setembro de 2001 observaram-se os menores valores de turbidez na preamar em um período de quadratura, em torno de 13 NTU. Estes ocorreram próximo da desembocadura, entre os dias 12 e 13 (Figura 50) com baixa descarga fluvial. Mantendo esta combinação das forçantes mareal e fluvial, a turbidez se conservou com valores inferiores a 40 NTU entre os dias 10 e 15.

Aproximando-se do período de sizígia (dia 18), a turbidez praticamente triplica de valor, sendo que os maiores valores ocorreram em ambiente oligohalino (salinidade <5). Na preamar a maior turbidez ocorre entre os km 10 e 14 e profundidades abaixo de 2 m, a turbidez variou de 50 a 80 NTU (Figura 50). Na baixamar, a turbidez mais elevada ocorreu entre os Km 4 e 10 do estuário, atingindo um máximo de 80 NTU (Figura 51). Em ambos os estágios de maré, as maiores turbidez coincidiram com a ausência de descarga fluvial da barragem até o dia 18.

Entre os dias 19 e 21 de setembro contemplou-se um evento de grande magnitude, quando se somaram a fase de maré equinocial e o período de sizígia, além de elevada descarga fluvial (apesar de setembro ser considerado como período seco). Neste caso, a vazão correspondeu a $86 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Foram observados os maiores valores de turbidez de todo o monitoramento, com máximo de 147 NTU próximo da desembocadura, na baixamar. Já na preamar, a maior turbidez (63 NTU), se localizou no Km 7 no interior do estuário, em ambiente oligohalino (Figura 51). A zona de turbidez máxima ocorre entre 6 e 13 km do canal estuarino.

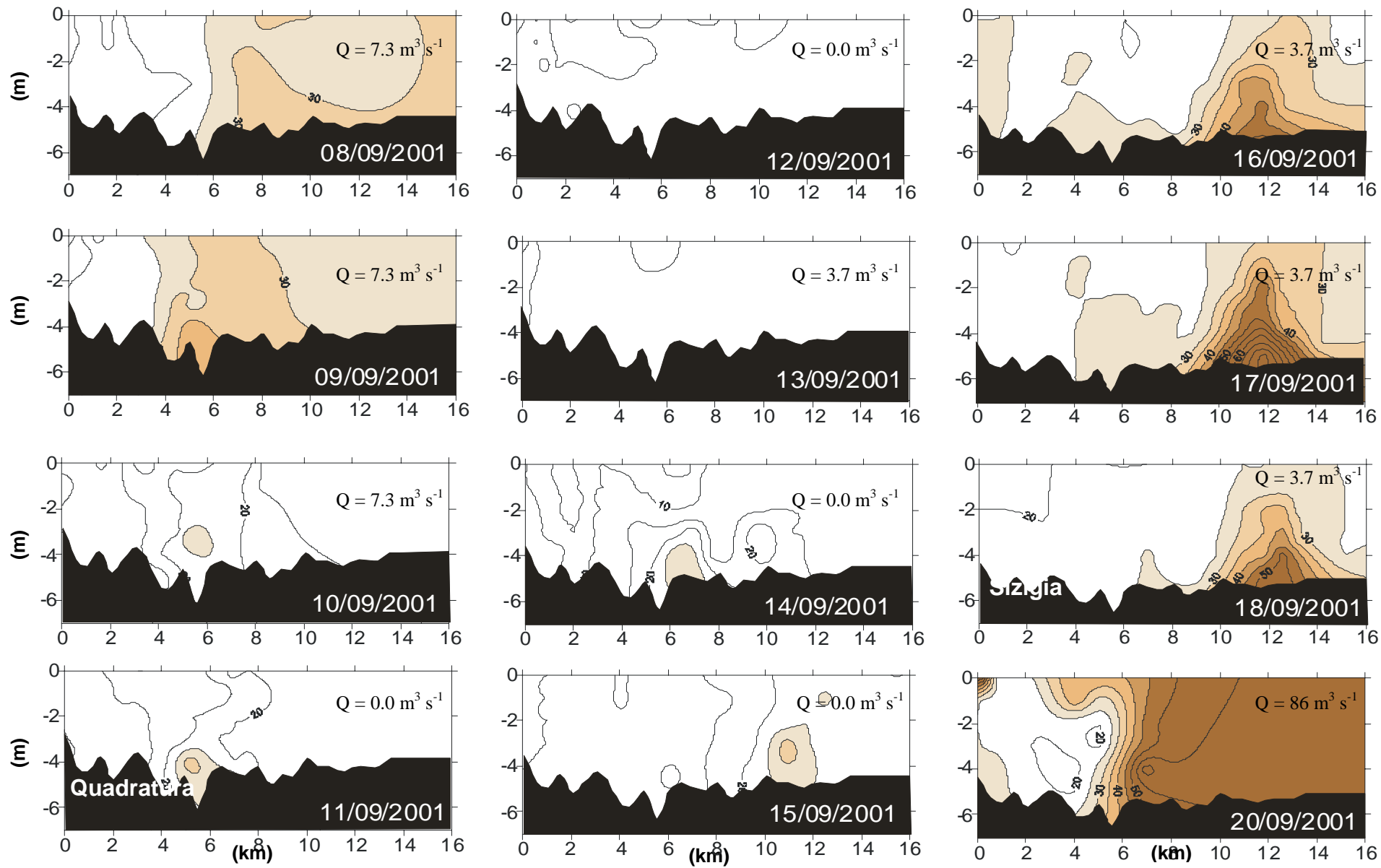


Figura 50 - Perfis de turbidez (NTU) do estuário do Rio Jacuípe, em setembro de 2001 – preamar.

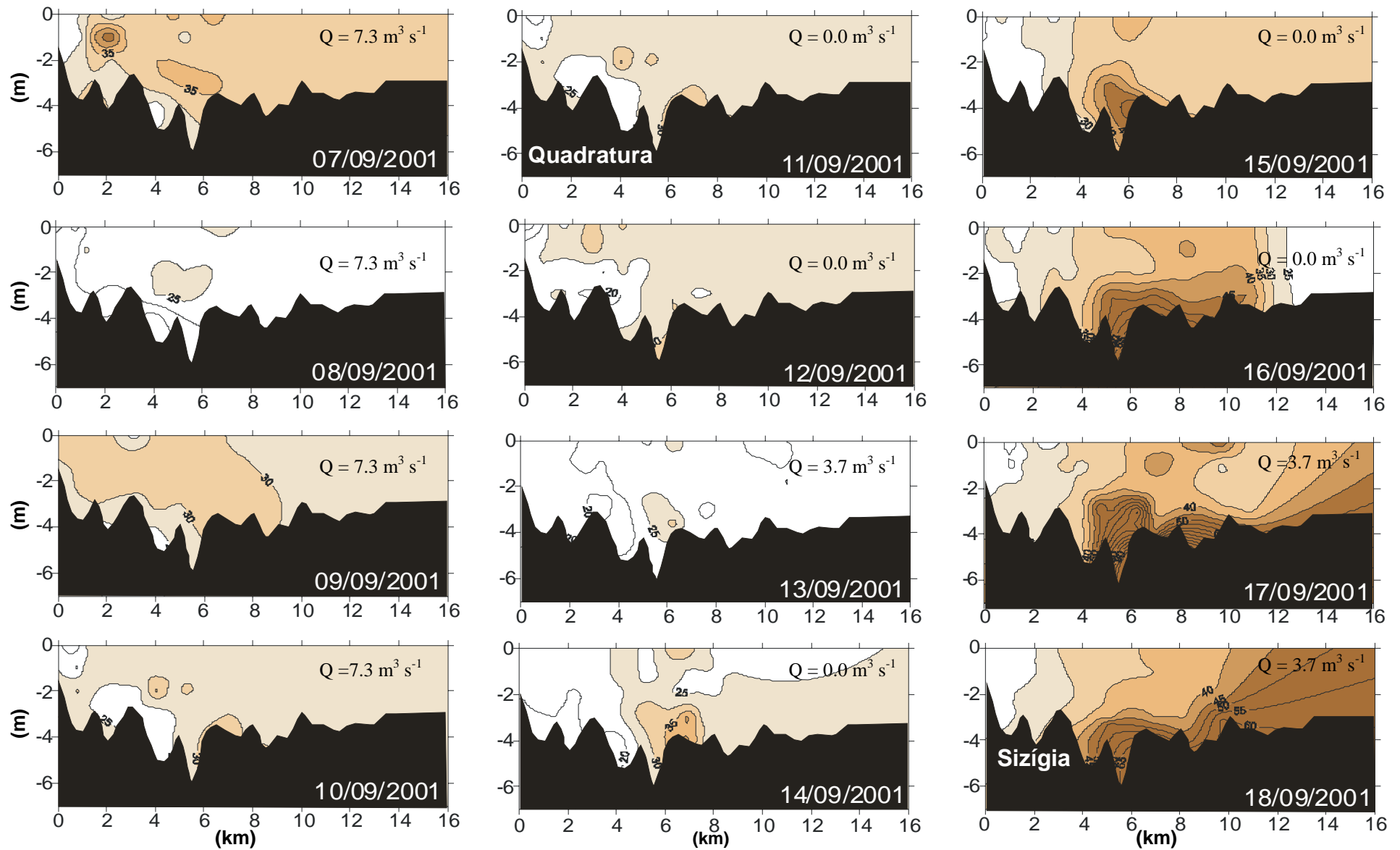


Figura 51 - Perfis de turbidez (NTU) do estuário do Rio Jacuipe, em setembro de 2001 – baixamar.

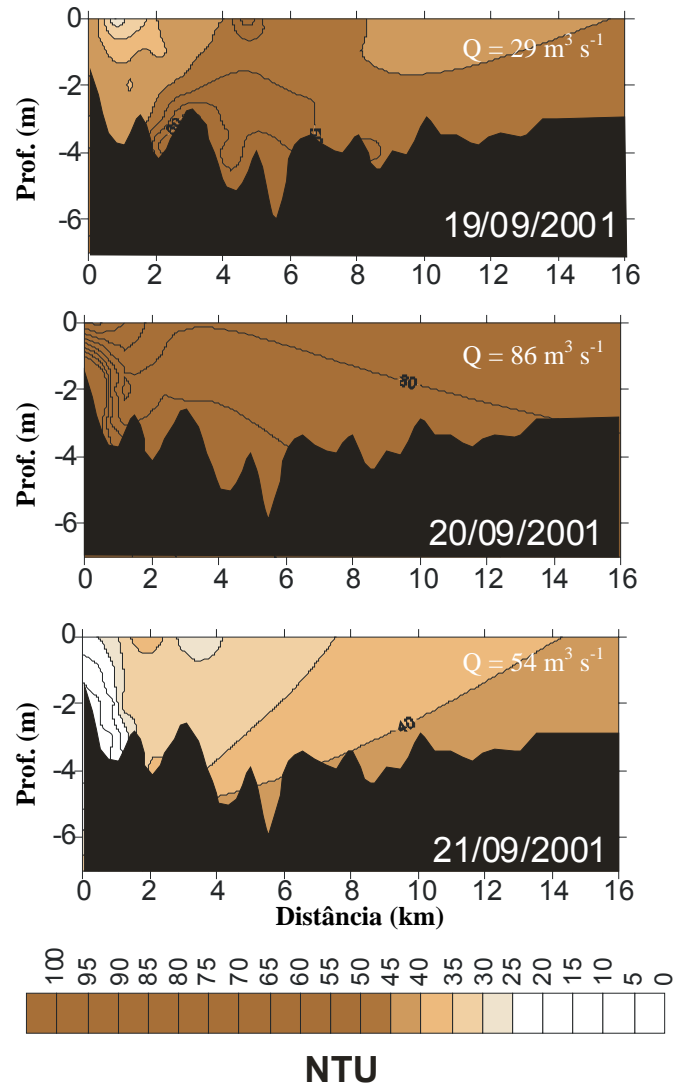


Figura 51 (continuação) - Perfis de turbidez (NTU) do estuário do Rio Jacuípe, em setembro de 2001 – baixamar.

4.6. Monitoramento da variação temporal do fluxo

4.6.1. Padrões de circulação e mistura

De acordo com a classificação do diagrama de estratificação e circulação (Figura 52), proposta por Hansen & Rattray (1966), o estuário do Rio Jacuípe apresentou diferentes padrões de circulação e mistura. Estes padrões foram diretamente ligados as combinações das alturas de maré (sizígia e quadratura) e diferentes intensidades da descarga fluvial (dados referentes a 2002, figuras 53 a 60), esta última controlada pela abertura das comportas da Barragem Santa Helena. De modo geral prevaleceram duas condições de circulação:

Circulação gravitacional - quando marcado pela ausência ou baixa descarga fluvial predominou o padrão de circulação gravitacional e, associados a este, diferentes padrões de mistura, sendo eles:

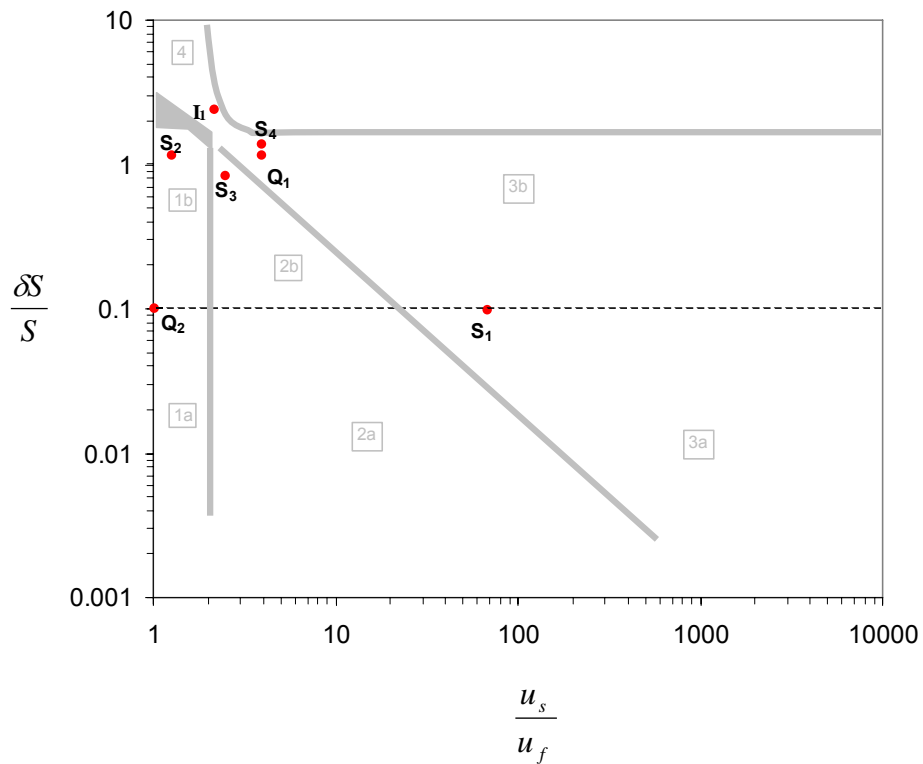
- *Cunha salina* - ocorreu na fase de maré intermediária (07/07), com vazão de $8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, tendo a salinidade apresentado valores baixos, inferiores a 15 ups (Figura 52);
- *Parcialmente misturado* - este padrão predominou com a ausência da descarga fluvial (em 27/04, 19/05, 09/07 e 12/07), alternando-se em: pobremente estratificado, altamente estratificado e parcialmente misturado (Tabela 12 e Figura 52). Atrelado a estes, prevaleceu o padrão de circulação gravitacional, com correntes residuais de vazante na superfície e, para o fluxo de enchente, as correntes residuais ocorrem no fundo, em ambas as condições de maré;

Bombeamento do rio - o efeito provocado pela intensa descarga fluvial destruiu a circulação gravitacional, com fluxo exclusivamente de vazante (unidirecional), ocorrendo o bombeamento fluvial, tendo duas condições de mistura:

- *Bem misturado* - a condição de *bem misturado*, na qual foi atribuída ao 28/05 (Figura 55), ocorreu pelo fato da coluna d'água não apresentar estratificação, porém à predominância foi de água doce (Tabela 12 e Figura 52).
- *Água doce* - ocorreu com a descarga da barragem de $70 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $47 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, em 31/07 e 16/06, respectivamente.

Tabela 12 – Parâmetros de estratificação e circulação obtidos para o estuário do Rio Jacuípe.

Data	$\frac{\delta S}{S}$	$\frac{u_s}{u_f}$	Período da maré	Identificação	Classificação
27/04	0,096	68,872	sizígia	S ₁	Pobrememente estratificado
19/05	1,137	3,995	quadratura	Q ₁	Altamente estratificado
28/05	1,137	1,259	sizígia	S ₂	Bem misturado
16/06	0,000	1,028	quadratura	Q ₂	Água doce
07/07	2,383	2,162	intermediária	I ₁	Cunha salina
09/07	0,833	2,494	sizígia	S ₃	Parcialmente misturado
12/07	1,382	3,974	sizígia	S ₄	Altamente estratificado
31/07	-	-	quadratura	-	Água doce

**Figura 52** – Diferentes classificações do estuário do Rio Jacuípe de acordo com o diagrama de estratificação e circulação (Hansen & Rattray, 1966). As letras Q, S e I referem-se as campanhas realizadas em quadratura, sizígia e na fase da maré intermediária a ambas (ver Tabela 12) .

4.6.2. Correntes, salinidade e turbidez

A onda de maré no estuário teve característica estacionária em quadratura e progressiva em sizígia, mas as constantes inversões de fluxo na coluna d'água alteraram tal modelo, tornando-a mista. A estratificação no campo das velocidades de correntes ocorre durante a maior parte do tempo, com as máximas ocorrendo no meio da coluna d'água.

Os parâmetros referentes à circulação e mistura (correntes e salinidade) e a turbidez associada aos mesmos, podem ser observados nas figuras 53 a 60, bem como em resumo detalhado nos anexos 7 e 8, descritos a seguir:

Correntes - valores de velocidade positivos referem-se a corrente de vazante, enquanto que os negativos a corrente de enchente. A velocidade média das correntes na coluna d'água foi de 0,23 m/s. A maior magnitude das correntes, de 0,98 m/s ocorreu na vazante em sizígia (28/05), com intensa descarga fluvial (a vazão da Barragem Santa Helena não foi registrada neste dia - Figura 54). Mesmo assim, a velocidade média de vazante foi mais que o dobro que a enchente, com 0,50 m/s e -0,20 m/s, respectivamente. Em quadratura (16/06), as velocidades foram reduzidas pela metade, porém o mesmo efeito da descarga fluvial, de $70 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, fez com que as velocidades médias de vazante de 0,39 m/s superassem as de enchente, onde a corrente média foi -0,11 m/s (Figura 55). Com a ausência da descarga fluvial predominou a corrente de enchente, acompanhando o menor tempo de subida da maré. Observou-se que a onda de maré tem característica estacionária em quadratura e progressiva em sizígia, mas as constantes inversões de fluxo na coluna d'água alteraram tal padrão, tornando-a mista. A estratificação no campo das velocidades ocorre durante a maior parte do tempo, com as máximas ocorrendo no meio da coluna d'água.

Salinidade – em sizígia (27/04), a coluna d'água manteve-se bem misturada, com média de 25 (Figura 53), máximo de 33,8 (na preamar) e mínimo de 8,6 (na baixamar). Em quadratura (19/05), a salinidade média da coluna d'água diminuiu para 6,6, apresentando maior gradiente vertical de salinidade (Figura 54) e a presença da haloclina (5-11). Em ambos os casos ocorreram à ausência da descarga pela barragem. Aproximando-se novamente de sizígia (09/07 - fase de lua nova), a penetração do sal aumentou, porém o estuário tornou-se altamente estratificado (Figura 58), e salinidade igual a zero na baixamar. Nesta data, não houve descarga da barragem, contudo a contribuição de água doce da área a jusante da barragem deve ter tido sua importância na diluição do sal. A precipitação registrada em Emboacica foi de 12 mm/dia. Comparando a semelhança de salinidade e corrente com o monitoramento anterior, uma vazão de igual intensidade deve ter ocorrido, em torno de $8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, inclusive, valor estimado este para o mês de

julho correspondente a esta área. Situação parecida também ocorreu em sizígia (12/07), com mesmo valor de precipitação, com a presença do gradiente vertical e longitudinal de salinidade. Devido à intensa descarga da barragem prevaleceu com água doce nos 28/05 (sizígia) e 16/06 e 31/07 (ambos em quadratura), durante todo o ciclo de maré.

Turbidez – os valores de turbidez tiveram relação direta com a intensidade das correntes, porém relativamente baixos. Em quadratura, com as correntes reduzidas a turbidez máxima foi de 16,7 NTU. Em sizígia, a turbidez máxima mais que triplica de valores atingindo 45 NTU. Na fase intermediária da maré, a turbidez se mantém com valores recíprocos a corrente, com 27 NTU. O aporte fluvial teve participação na maior turbidez observada no estuário (31/07), com 48 NTU mesmo que em quadratura (Figura 60). Os valores de turbidez máxima deste monitoramento, se comparados com o monitoramento longitudinal ao longo do canal estuarino, apresentam-se semelhantes tanto em sizígia quanto em quadratura.

Data de coleta – 27/04/2002 (maré de sizígia em lua cheia – pico dia 26)

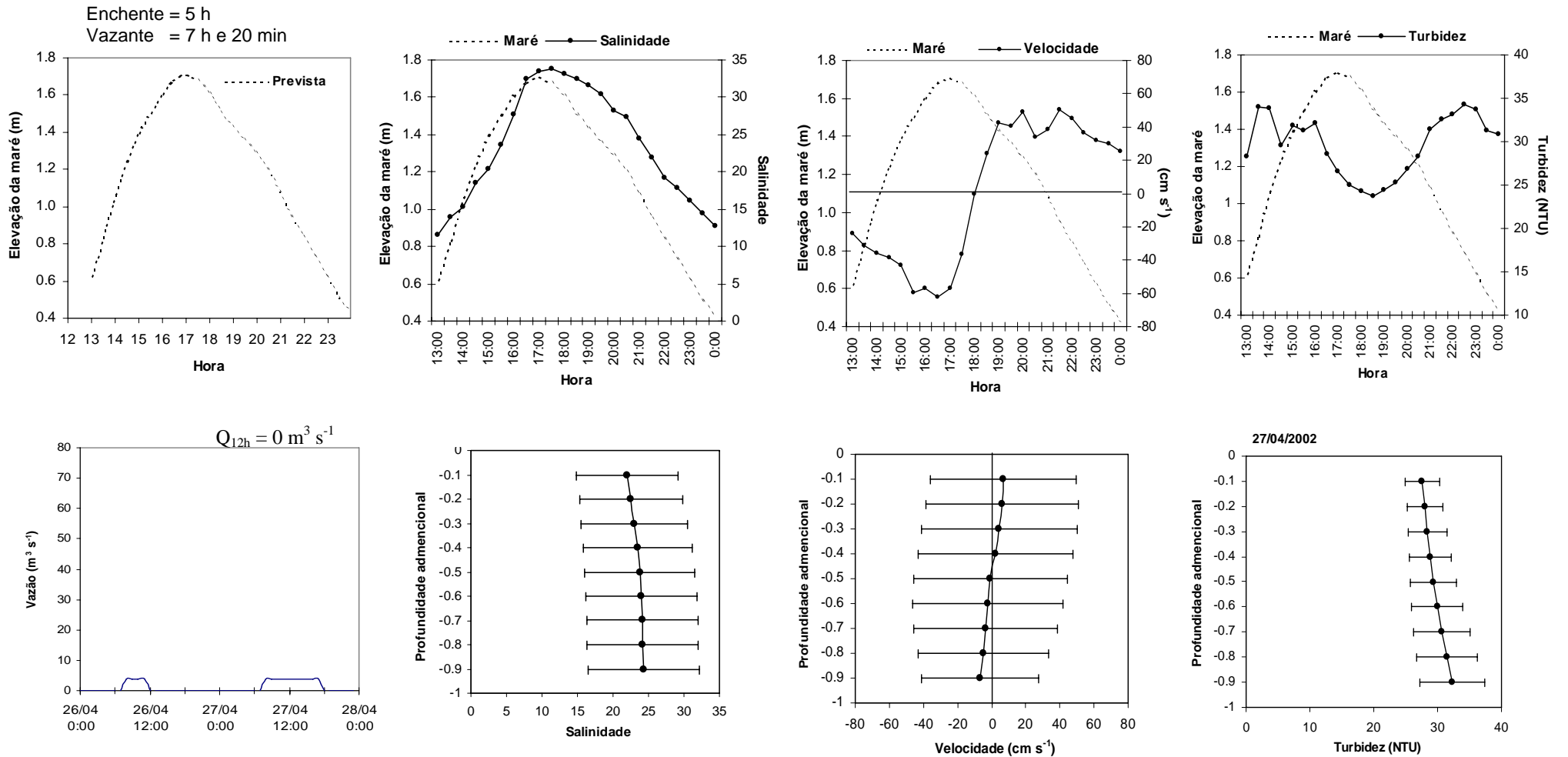


Figura 53 – Dados de elevação da maré prevista, com respectivo tempo de enchente e vazante, descarga fluvial antecedendo em até 36h do início do monitoramento (seta) e o comportamento dos parâmetros de salinidade, velocidade de corrente e turbidez em função das forçante mareal e fluvial do dia 27/04/02. Os parâmetros plotados na linha superior, referem-se a média da coluna d'água ao longo do ciclo de maré, enquanto que os da linha inferior representam os perfis residuais da coluna d'água, sendo as linhas horizontais o desvio-padrão.

Data de coleta – 19/05/2002 (maré de quadratura)

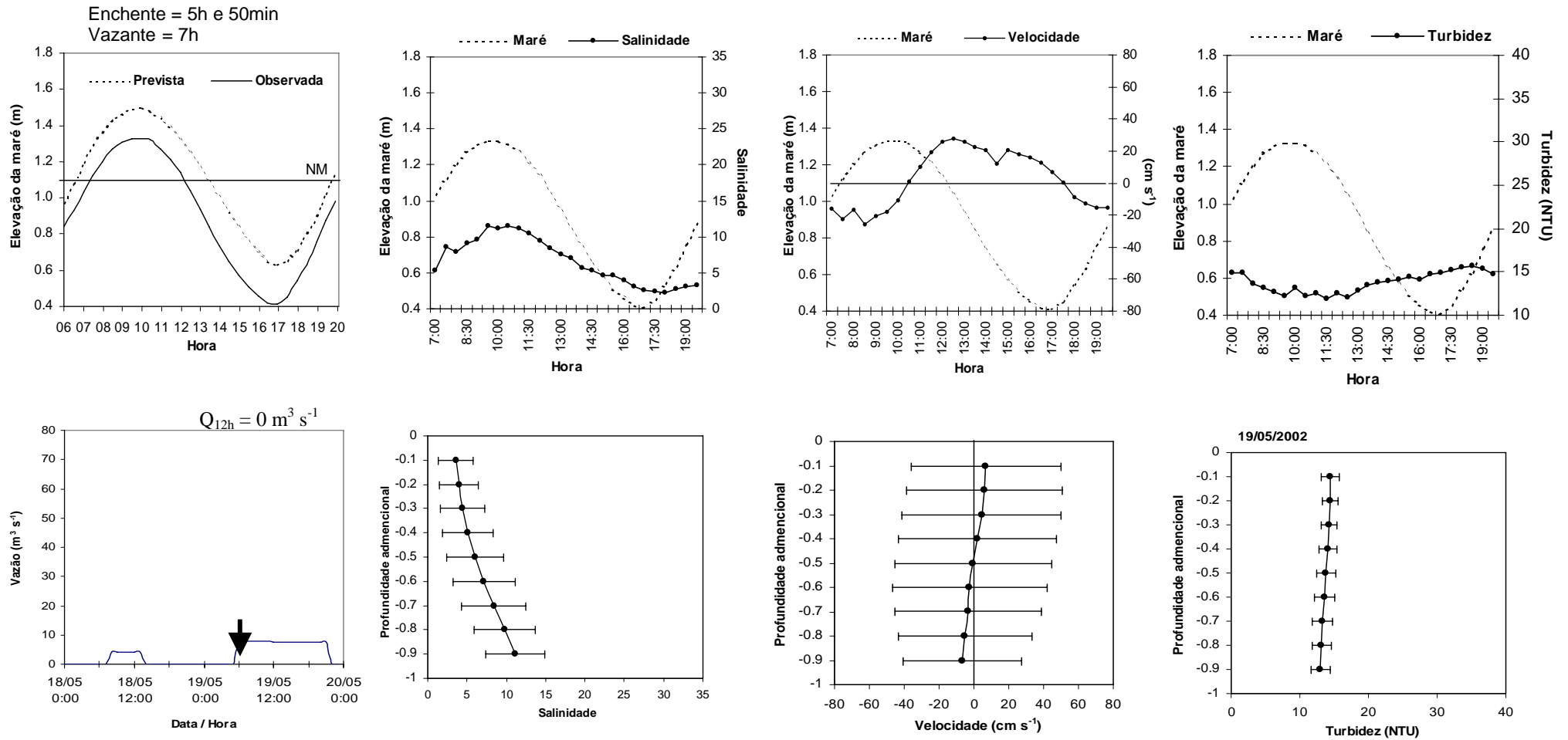


Figura 54 – Dados de elevação da maré prevista e observada, com respectivo tempo de enchente e vazante, descarga fluvial antecedendo em até 30h do início do monitoramento (seta) e o comportamento dos parâmetros de salinidade, velocidade de corrente e turbidez em função das forçante mareal e fluvial do dia 19/05/02. Os parâmetros plotados na linha superior, referem-se a média da coluna d'água ao longo do ciclo de maré, enquanto que os da linha inferior representam os perfis residuais da coluna d'água, sendo as linhas horizontais o desvio-padrão.

Data de coleta – 28/05/2002 (maré de sizígia em lua cheia – pico dia 26)

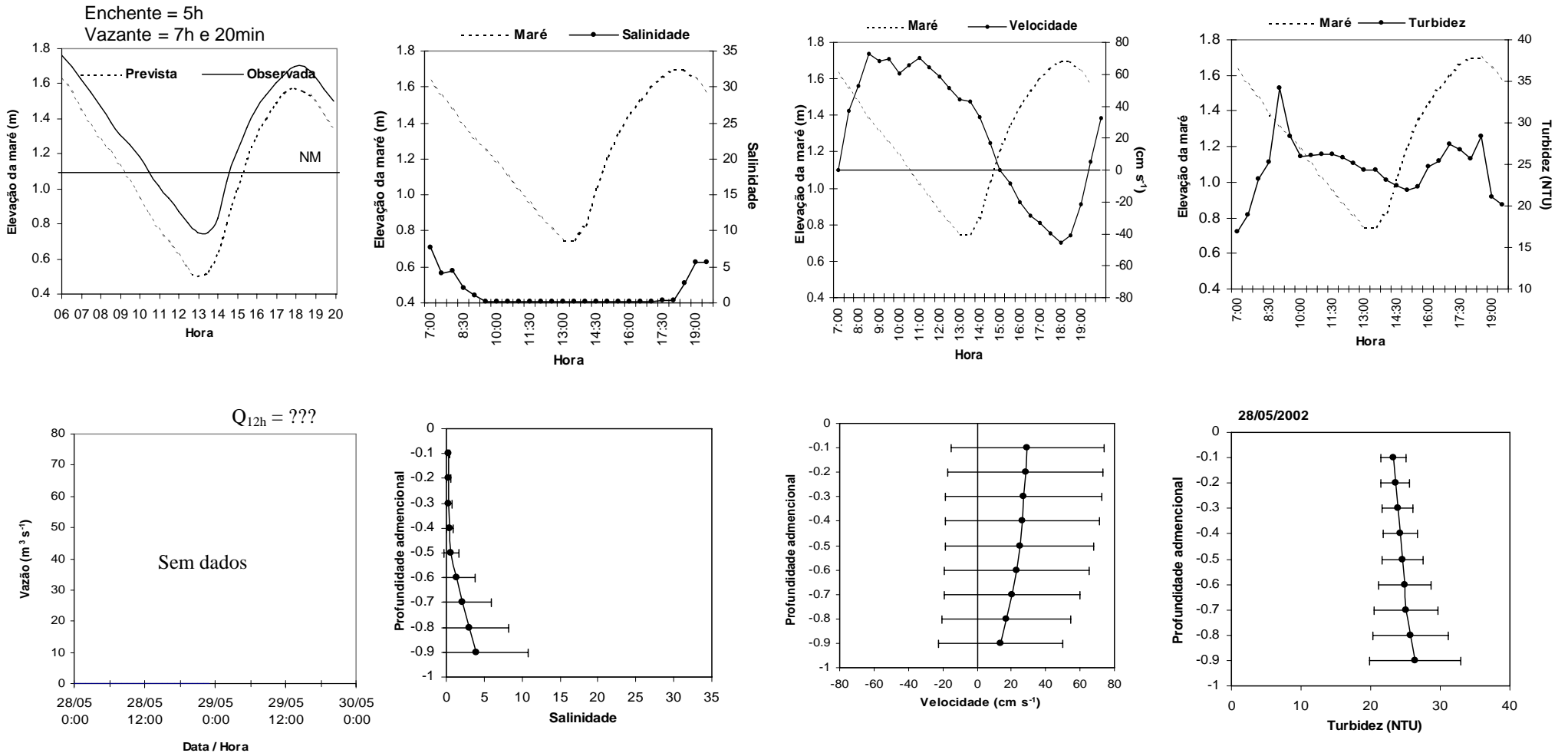


Figura 55 - Dados de elevação da maré prevista e observada, com respectivo tempo de enchente e vazante e o comportamento dos parâmetros de salinidade, velocidade de corrente e turbidez em função das forçante mareal e fluvial do dia 28/05/02. Neste dia, não existiu o registro de descarga da Barragem Santa Helena. Os parâmetros plotados na linha superior, referem-se a média da coluna d'água ao longo do ciclo de maré, enquanto que os da linha inferior representam os perfis residuais da coluna d'água, sendo as linhas horizontais o desvio-padrão.

Data de coleta – 16/06/2002 (maré de quadratura – pico dia 17/06)

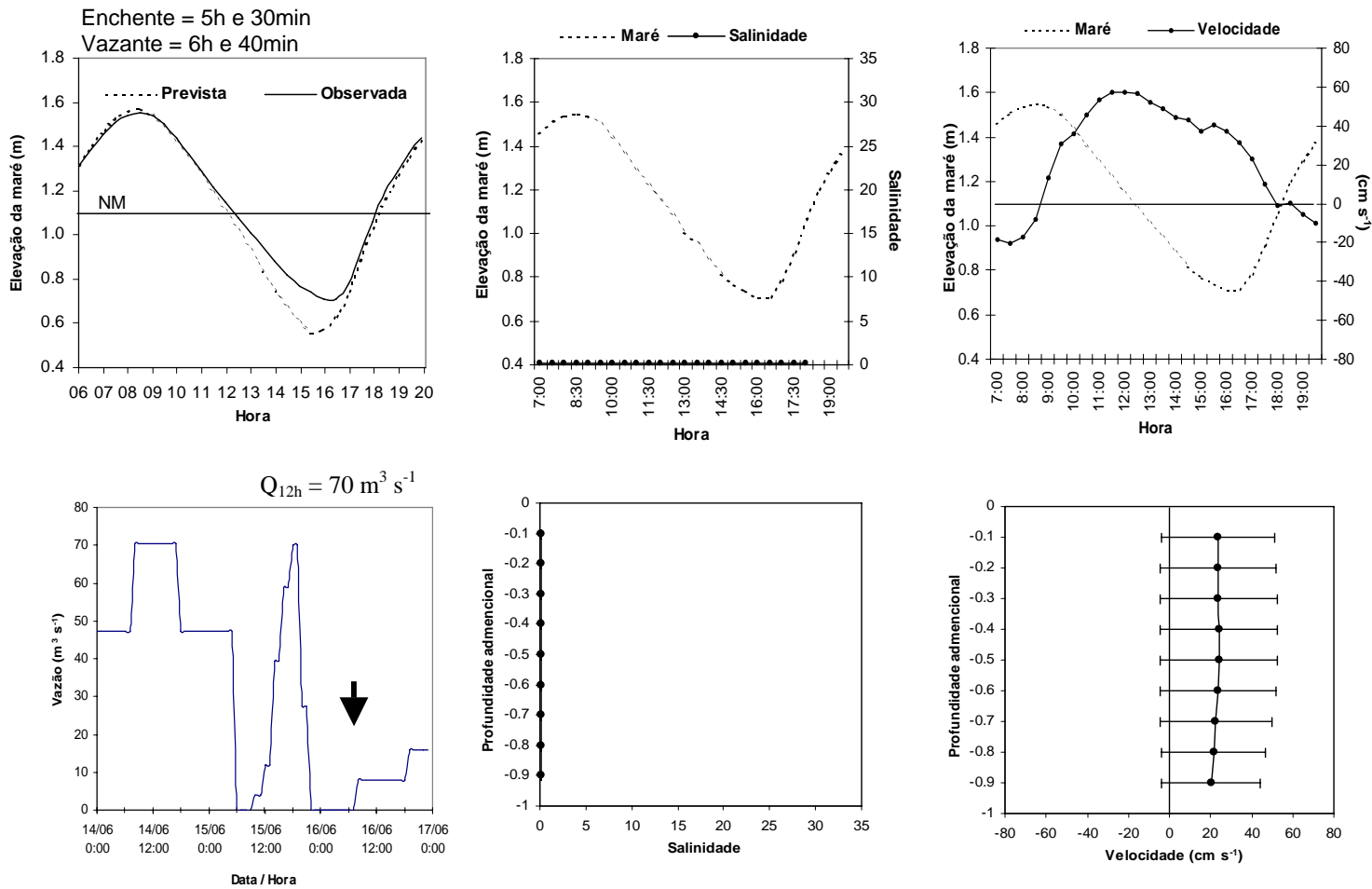


Figura 56 - Dados de elevação da maré prevista e observada, com respectivo tempo de enchente e vazante, descarga fluvial antecedendo em até 54h do início do monitoramento (seta) e o comportamento dos parâmetros de salinidade e velocidade de corrente, em função das forçante mareal e fluvial do dia 16/06/02. Os parâmetros plotados na linha superior, referem-se a média da coluna d'água ao longo do ciclo de maré, enquanto que os da linha inferior representam os perfis residuais da coluna d'água, sendo as linhas horizontais o desvio-padrão.

Data de coleta – 07/07/2002 (maré intermediária)

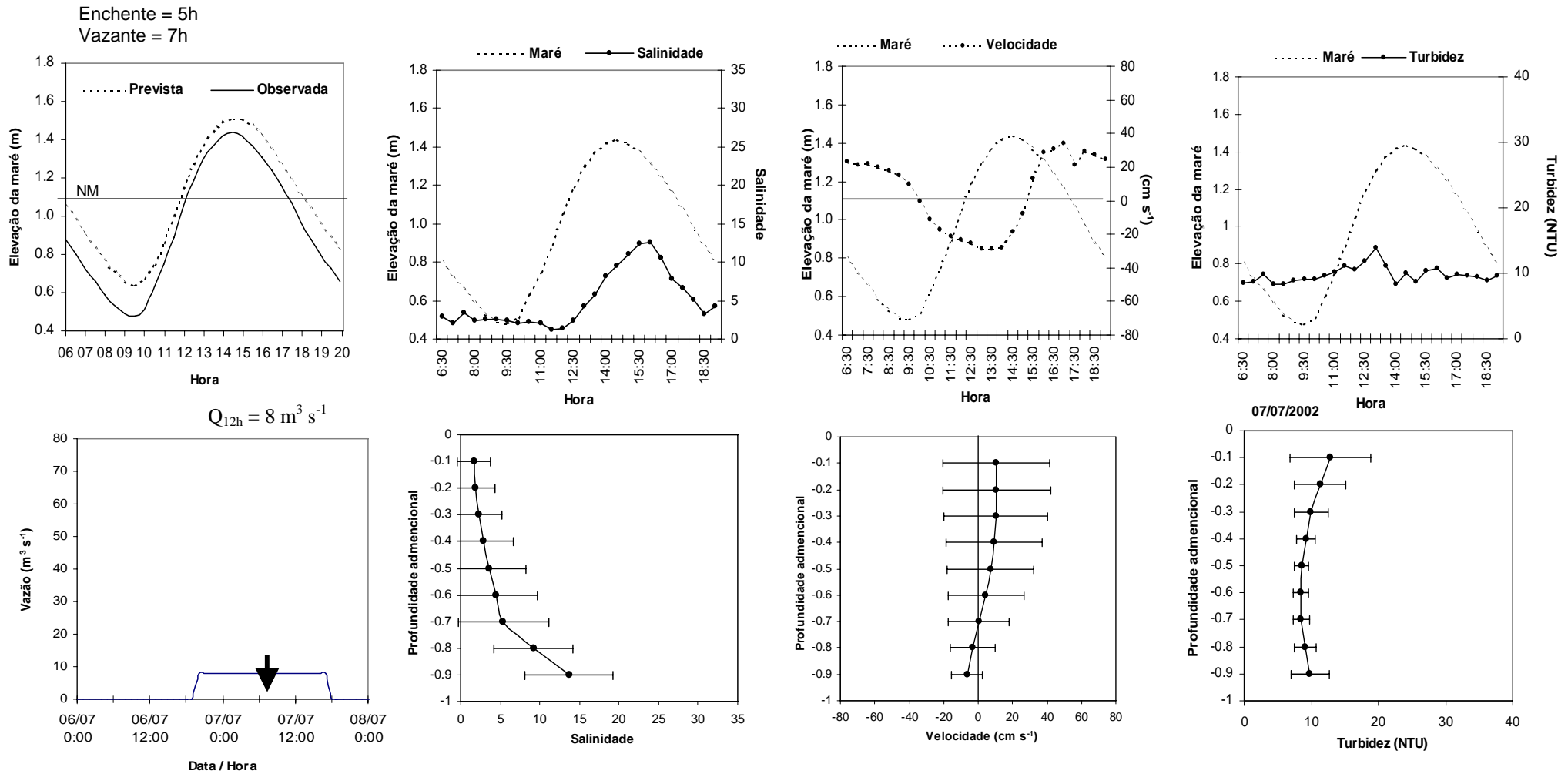


Figura 57 - Dados de elevação da maré prevista e observada, com respectivo tempo de enchente e vazante, descarga fluvial antecedendo em até 30h do início do monitoramento (seta) e o comportamento dos parâmetros de salinidade, velocidade de corrente e turbidez do dia 07/07/02. Os parâmetros plotados na linha superior, referem-se a média da coluna d'água ao longo do ciclo de maré, enquanto que os da linha inferior representam os perfis residuais da coluna d'água, sendo as linhas horizontais o desvio-padrão.

Data de coleta – 09/07/2002 (maré de sizígia em lua nova – pico dia 10/07)

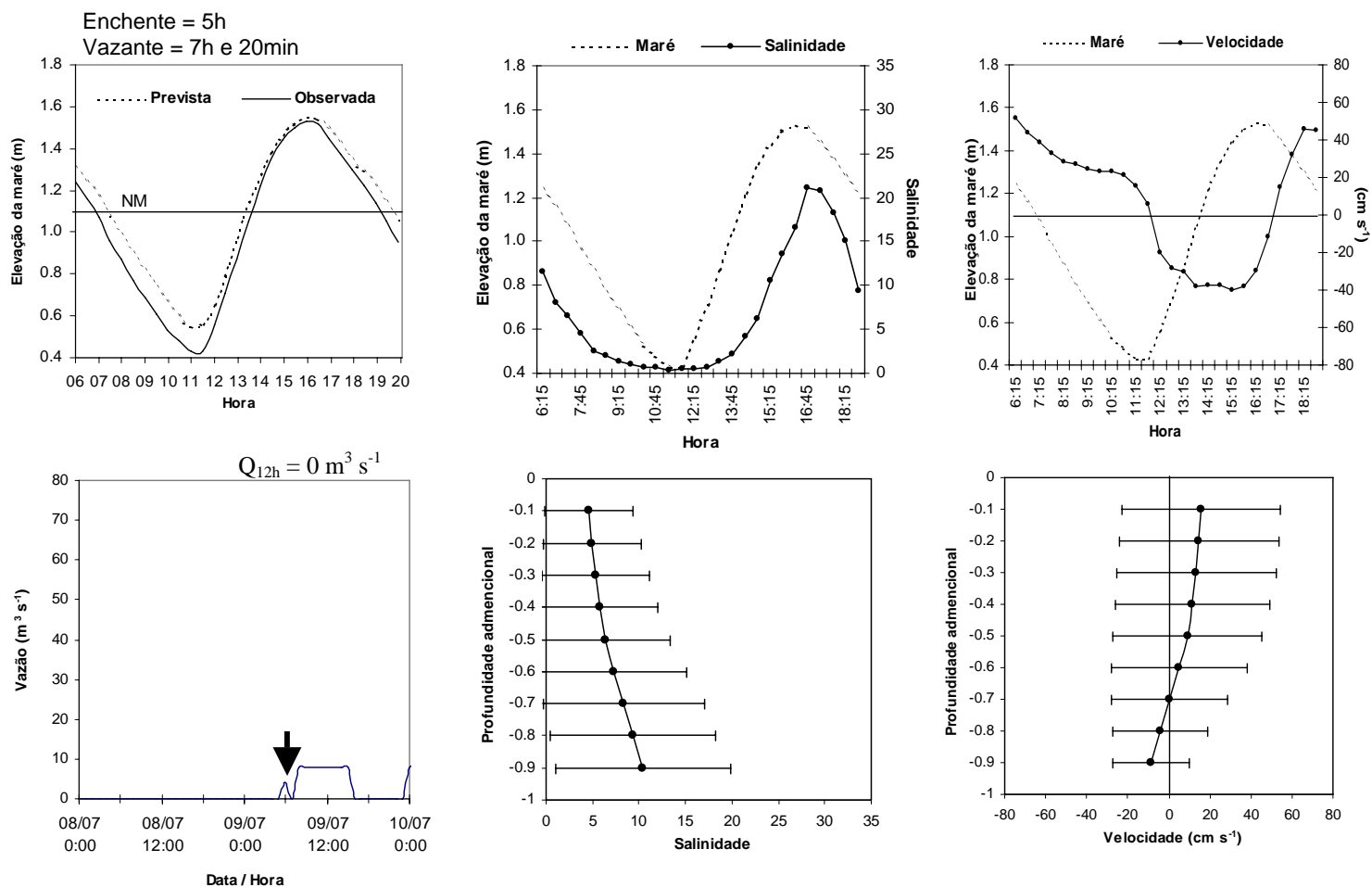


Figura 58 - Dados de elevação da maré prevista e observada, com respectivo tempo de enchente e vazante, descarga fluvial antecedendo em até 48h do início do monitoramento (seta) e o comportamento dos parâmetros de salinidade e velocidade de corrente do dia 09/07/02. Os parâmetros plotados na linha superior, referem-se a média da coluna d'água ao longo do ciclo de maré, enquanto que os da linha inferior representam os perfis residuais da coluna d'água, sendo as linhas horizontais o desvio-padrão.

Data de coleta – 12/07/2002 (maré de sizígia com lua nova – pico dia 10/07)

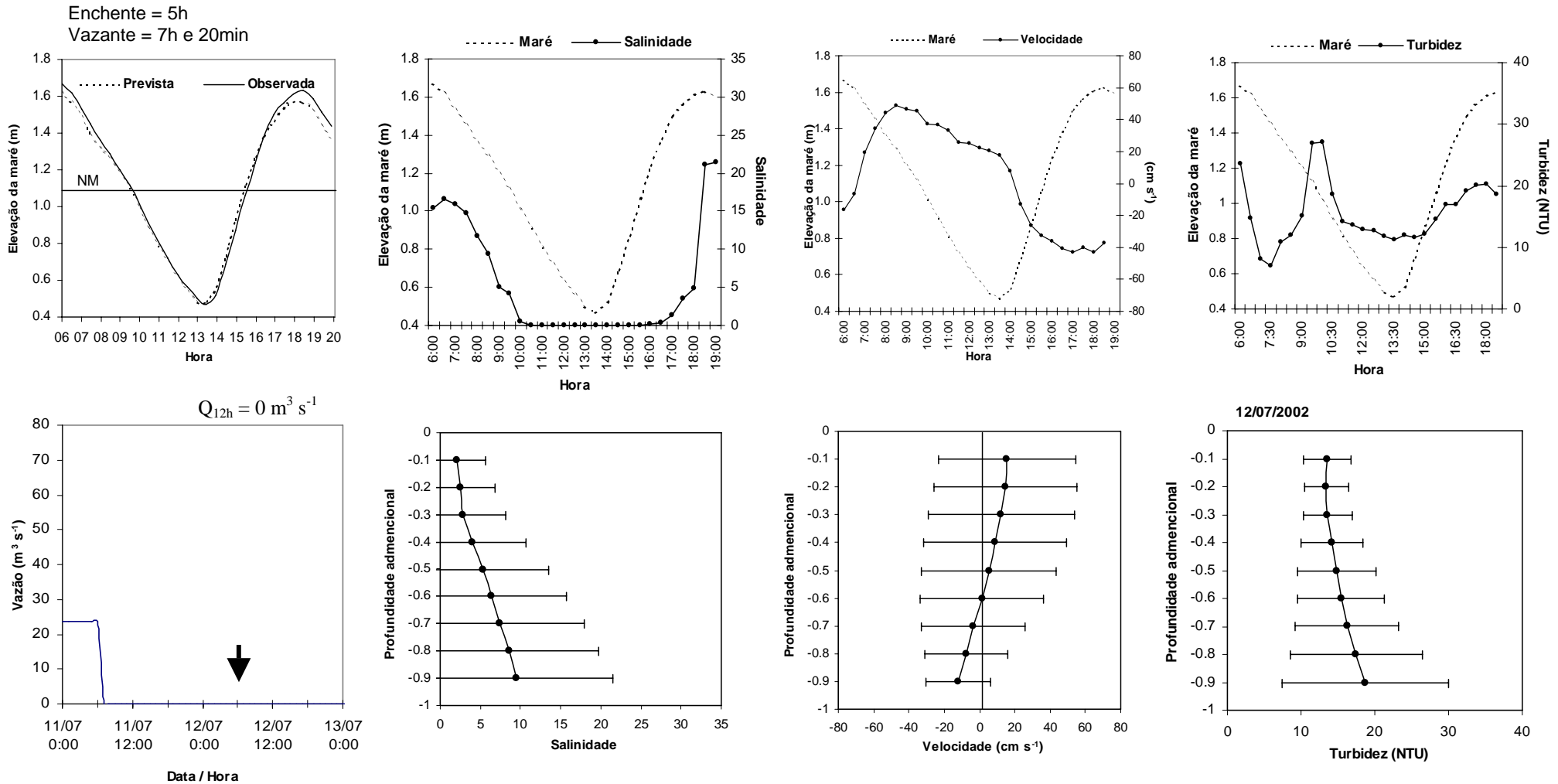


Figura 59 - Dados de elevação da maré prevista e observada, com respectivo tempo de enchente e vazante, descarga fluvial antecedendo em até 48h do início do monitoramento (seta) e o comportamento dos parâmetros de salinidade, velocidade de corrente e turbidez em função das forçante mareal e fluvial do dia 12/07/02. Os parâmetros plotados na linha superior, referem-se a média da coluna d'água ao longo do ciclo de maré, enquanto que os da linha inferior representam os perfis residuais da coluna d'água, sendo as linhas horizontais o desvio-padrão.

Data de coleta – 31/07/2002 (maré de quadratura – pico dia 01/08)

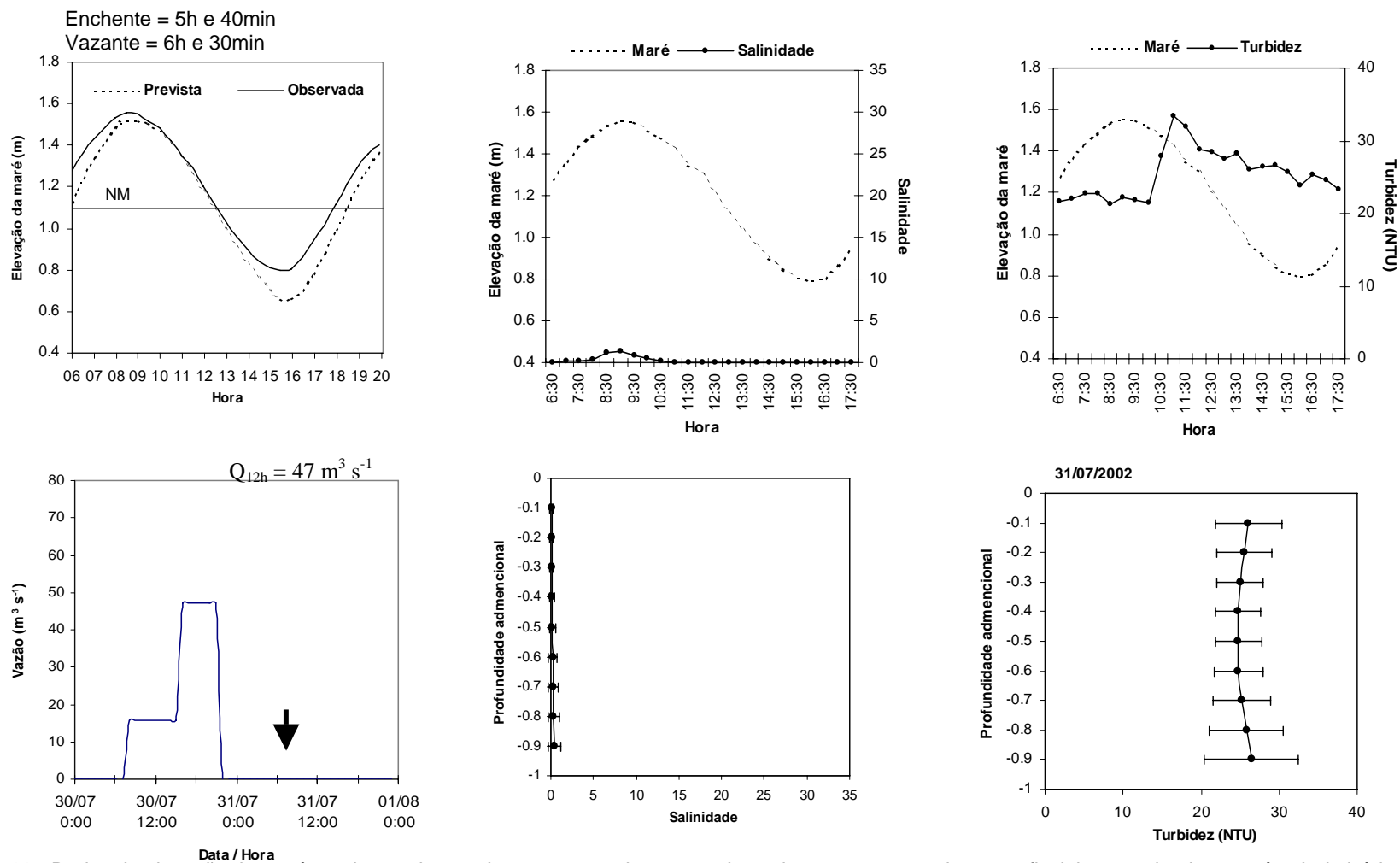


Figura 60 - Dados de elevação da maré prevista e observada, com respectivo tempo de enchente e vazante, descarga fluvial antecedendo em até 48h do início do monitoramento (seta) e o comportamento dos parâmetros de salinidade, velocidade de corrente e turbidez em função das forçante mareal e fluvial do dia 31/07/02. Os parâmetros plotados na linha superior, referem-se a média da coluna d'água ao longo do ciclo de maré, enquanto que os da linha inferior representam os perfis residuais da coluna d'água, sendo as linhas horizontais o desvio-padrão

5. DISCUSSÃO

*A palavra “sucesso” vem do verbo “suceder”,
que significa simplesmente “vir depois de”,
acontecer “em consequência de”.*

*Ser bem sucedido, fazer sucesso,
é sempre consequência de algo bem feito...*

(autor desconhecido)

5.1. Descarga fluvial

A descarga fluvial é uma variável fundamental nos processos hidrossedimentológicos nos estuários. Contudo, atualmente, existe pouca discussão específica na literatura, sobre as alterações hidrológicas sofridas nas últimas décadas, especialmente, devido à abundância hídrica existente no Brasil e sua proporcional utilização. As alterações hidrológicas impostas aos estuários brasileiros podem ser decorrentes da variabilidade climática provocada, diretamente, pelo aumento ou redução da precipitação (fenômeno natural) e/ou pelas intervenções humanas na bacia hidrográfica que os abastecem. Esta última, ocorre devido às alterações tanto na intensidade do fluxo quanto em seu regime hidrológico sazonal. Tais procedimentos, geralmente estão associados à implantação de barragens (Pekárová *et al.* 2003; Brandt, 2000). Ambos os casos foram característicos ao Rio Jacuípe.

5.1.1. Modificações causadas pela variabilidade interanual da precipitação

Os ciclos hidrológicos interanuais do Rio Jacuípe estão de acordo com os ciclos identificados por Pekárova *et al.* (2003) e, parcialmente, relacionados a ciclicidade dos eventos do fenômeno ENOS, ocorrendo com intervalos de frequência de 3 a 5 anos. A incidência do fenômeno ENOS ocasiona períodos de vazão abaixo da média e sua periodicidade tem superado os ciclos de La Niña (que ocasiona aumento da precipitação nesta região), numa escala de 2:1. De dez eventos de ENOS registrados na América do Sul, a partir da década de 60, nove foram sincrônicos com a redução na taxa das vazões do Rio Jacuípe. Subimpostos a estes ciclos observa-se ciclos com períodos de aproximadamente 11-12 anos, os quais mostram uma fase de incremento da vazão na década de 80 e duas fases de supressão entre 1968 e 1980 e após 1989. A queda dos valores médios anuais neste último período ocorreu a uma taxa de $1,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}/\text{ano}$ no Rio Jacuípe. Já a taxa de redução da precipitação foi de 10 mm/ano.

A variabilidade interanual observada parece afetar toda a extensão do litoral da Bahia. Diversos rios estudados nos litorais Sul e Extremo Sul apresentaram redução das suas descargas. As flutuações de longo período das descargas fluviais foram indicadas por Queiroz (2003), na bacia do Rio Mucuri (extremo sul da Bahia) onde a atual erosão na linha de costa adjacente estaria associada à redução da vazão sólida, nos últimos 40 anos. O autor, analisando a redução da descarga sólida no Rio Mucuri, observou que as tendências de longo período possuem intervalos de uma década, e que estes períodos interferiram na diminuição do volume precipitado e escoado no interior desta bacia. Da mesma forma os rios Paraguaçu, Jaguaripe, Jiquiriça, Almas, Almada, Cachoeira e Rio Pardo (Litoral Sul) e os rios Jequitinhonha, Buranhém, Jucuruçu, Itanhém

(Extremo Sul) apresentaram comportamento periódico bem definido das vazões médias anuais (Genz *et al.* 2003). Vale ressaltar que há uma defasagem temporal entre os ciclos de baixa frequência dos rios do litoral Sul e Extremo Sul (Figura 61).

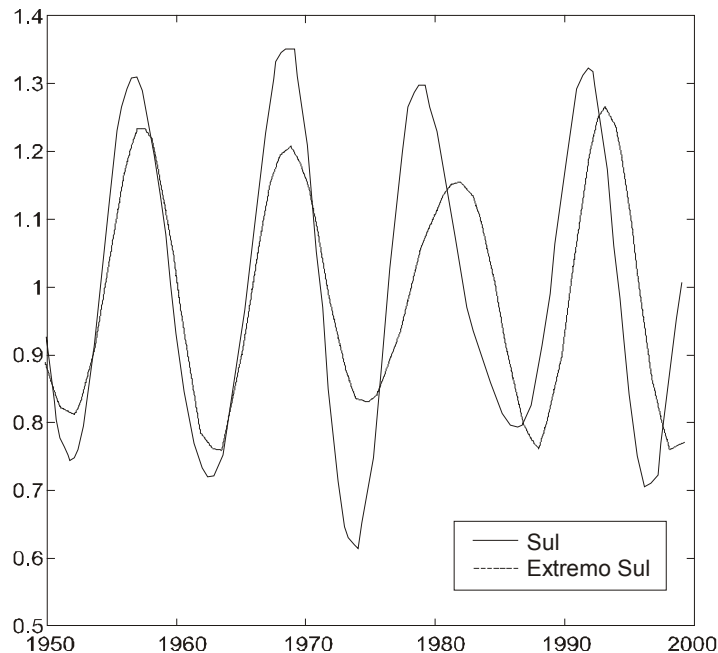


Figura 61 - Ciclos hidrológicos de baixa frequência do litoral sul e extremo sul da Bahia (modificado de Genz *et al.* 2003)

A variabilidade interanual da pluviosidade associada aos baixos totais anuais sobre região Nordeste do Brasil é um dos principais fatores para a ocorrência dos eventos de secas nesta região. Este fenômeno está associado, principalmente: (i) às variações nos padrões da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre os oceanos tropicais, os quais afetam a posição e a intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Oceano Atlântico (Hastenrath e Heller, 1977. In: Nobre & Melo, 2001); e (ii) a incidência dos fenômenos El Niño Oscilação Sul (ENOS). Os índices positivos anômalos da TSM (correspondendo a evento quente do ENOS) tendem a inibir a ocorrência de precipitações sobre o Nordeste (Nobre & Melo, 2001).

Nobre & Melo (2001) associaram a variabilidade interanual do clima no Nordeste, como sendo produto da variabilidade intrasazonal provocada por sistemas transientes. Tais sistemas interferem na distribuição temporal da pluviometria sobre a região, ocasionando períodos de maior estiagem, intercalados por ocorrências de precipitações mais abundantes. Neste caso, há de se considerar não somente os totais sazonais de chuvas, mas, principalmente, a variabilidade temporal destas, em escalas de tempo intrasazonal. Durante o período chuvoso ocorrem um ou

mais períodos prolongados de estiagem. Mesmo em anos nos quais os totais pluviométricos anuais são próximos à média histórica, a distribuição temporal das precipitações durante a estação chuvosa pode ser reduzida. As anomalias pluviométricas que causam secas ou inundações sobre o Nordeste do Brasil têm escala espacial muito maior do que o próprio Nordeste, englobando também o Atlântico Equatorial até a parte central da Amazônia (Nobre & Shukla, 1996). Prever-se a redução na taxa de precipitação de 0.25 mm/dia (Figura 62).

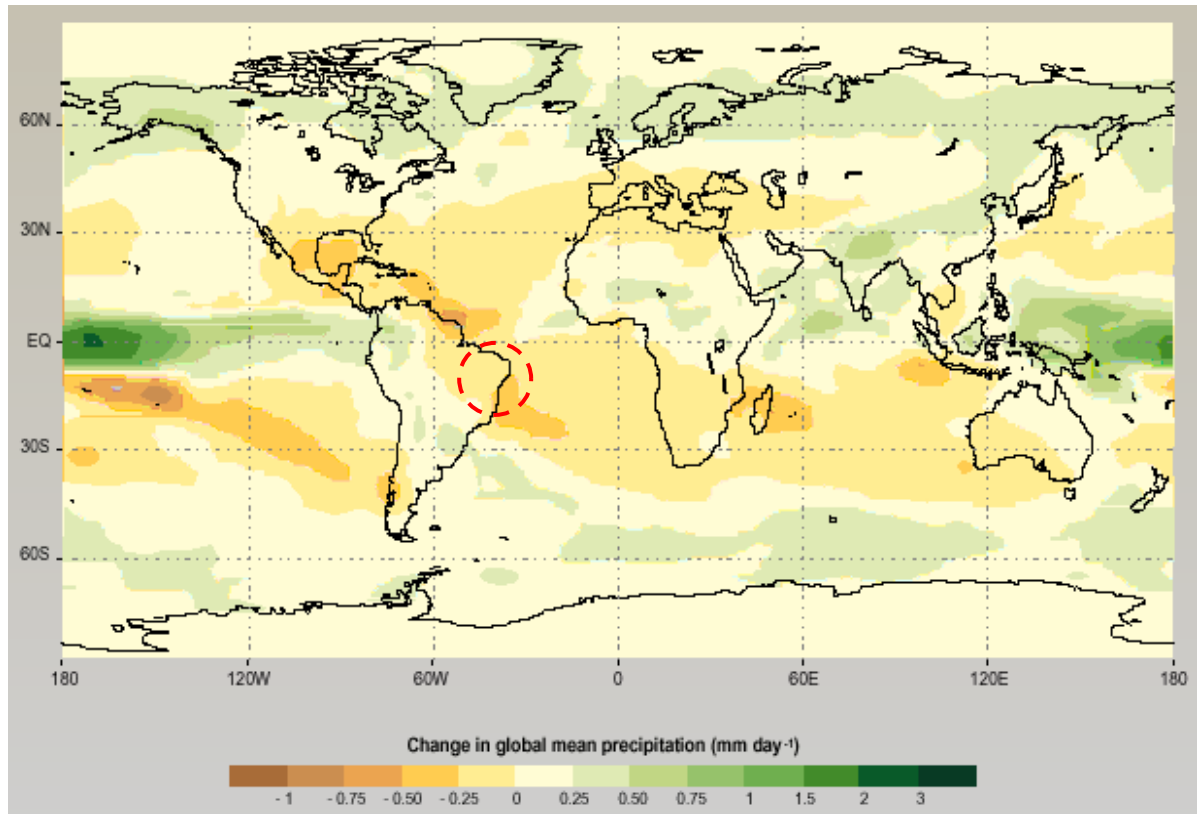


Figura 62 – Cenário global sobre a mudança das taxas de precipitação média diária para o século XXI; o círculo tracejado, refere-se a Região Nordeste do Brasil (IPCC, 2002).

5.1.2. Modificações causadas por barramento

Atualmente, o regime de vazões do Rio Jacuípe encontra-se totalmente controlado pela BSH, localizada a 16 Km da cabeceira do estuário. A função de abastecimento humano a que se destinou a água da barragem, não foi ainda efetivada. Após o enchimento do reservatório em 2001, a barragem operou próximo da capacidade máxima durante 99.3% do tempo, sendo que em alguns casos, acima do limite (cota 20m – figura 63). Como consequência da retenção de água no reservatório, as vazões médias foram diminuídas e vazões nulas passaram a ocorrer. Como a represa tem operado no limite da capacidade de armazenamento, descargas

anormalmente elevadas passaram a ocorrer em momentos de cheia. Foram registrados desde 2001, 28 picos de descarga acima da vazão máxima de 40 anos, igual a $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

O procedimento normal de uma barragem, seria manter o nível do reservatório dentro de uma margem de segurança para amortecer a onda de cheia (Tucci, 1997), de modo a regularizar as descargas a jusante (Figura 64a). As restrições a este controle no Rio Jacuípe ocorrem pela falta de uma estação fluviométrica, localizada a montante do barramento, que permita o acompanhamento das ondas de cheia e, com isso, melhor controle na abertura das comportas.

As alterações de forma inversa (de redução) afetaram as vazões mínimas e médias, devido aos períodos prolongados com que a barragem operou com as comportas fechadas (permanência de 36.7%). Baseando-se no modelo de Tucci (1997), a regularização da vazão deve ser mais ainda amortizada (figura 64b), quando ocorrer à adução de forma a complementar o abastecimento de água de Salvador.

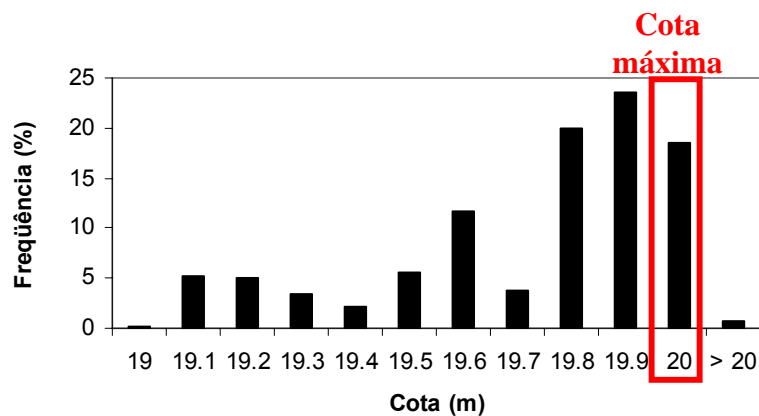


Figura 63 – Frequência de Permanência do nível do lago a montante da Barragem Santa Helena. As cotas nos reservatório podem variar de 8m (cota mínima) a 20m (cota máxima). O intervalo de frequência mínimo na cota de 19m indica que após o enchimento da represa não houve permanência abaixo da mesma.

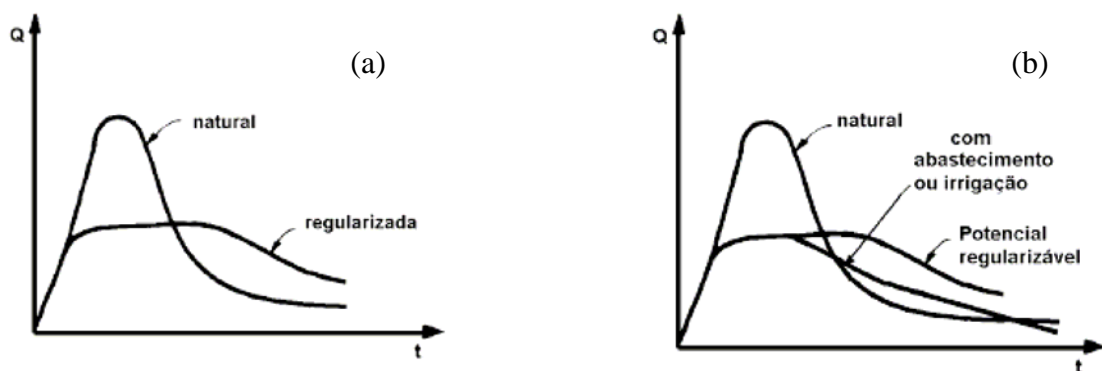


Figura 64 - Efeitos da regularização das vazões no regime hidrológico: sem retirada de água do sistema fluvial (a) e com destino ao abastecimento humano ou irrigação (b) - (Tucci, 1997).

Analisando a vazão regularizada projetada para a barragem, de $15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (com 95% de garantia), com a vazão média de longo período, de $16.9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (1961 a 1979), dá indícios de alto controle sobre as vazões sendo liberadas para o estuário. Estima-se que, após o início de transferência de água para a Barragem de Joanes, a maior perda de água ocorrerá no verão, devido a ser este o período de estiagem e onde a demanda de retirada do reservatório supera a capacidade de vazão da barragem (Figura 65) com a chegada da alta estação. Confirmado este cenário, a vazão ecológica (descarga fluvial necessária para que ocorra a manutenção do ambiente) para o estuário estará severamente limitada, restringindo-se à captação da área a jusante do barramento (Figura 66). Este valor corresponde a menos de 25% do total de água doce que flui em média para a zona estuarina (Figura 67). Porém, na primavera e verão, esta deverá ser insuficiente para garantir a qualidade ambiental do estuário. Apenas no período úmido (abril a julho) poderá ocorrer uma pequena diluição da água marinha, nos quilômetros iniciais da embocadura (conforme discutido nos padrões de circulação e mistura).

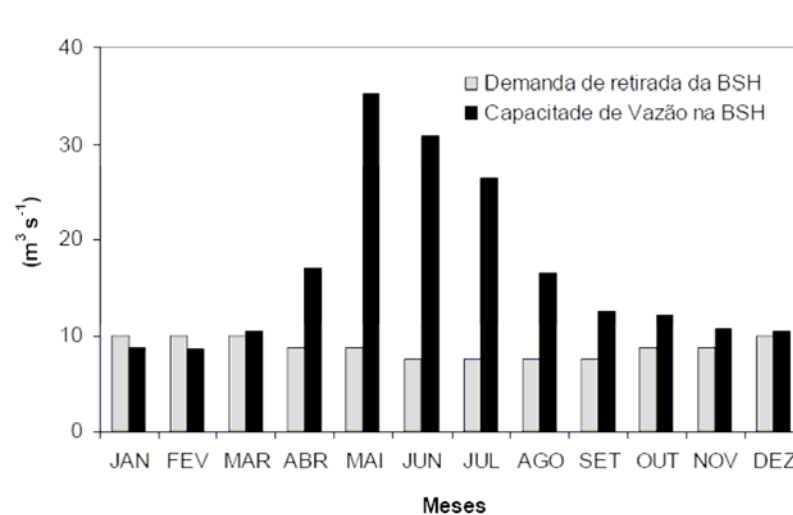


Figura 65 - Demanda de retirada de água e capacidade de vazão anual da Barragem de Santa Helena (segundo EMBASA, comunicação pessoal).

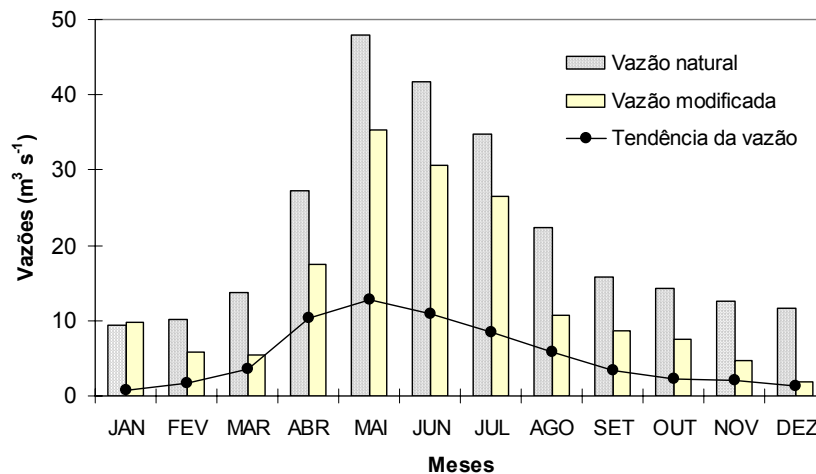


Figura 66 – Histórico e tendência da descarga fluvial do Rio Jacuipé.

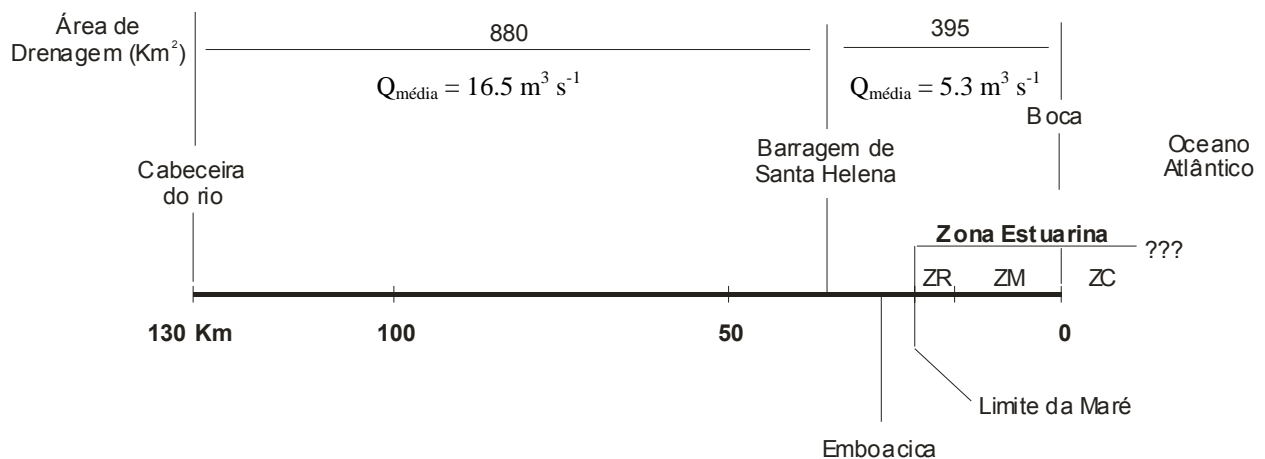


Figura 67 – Perfil esquemático do Rio Jacuípe, com as dimensões da bacia hidrográfica, dividida com o potencial de descarga a montante e jusante da Barragem de Santa Helena e extensão da zona estuarina.

Comportamento operacional semelhante com o do Rio Jacuípe, de redução e depois aumento das vazões médias, ocorreu com o Rio Paraguaçu, pela Barragem Pedra do Cavalo (construída em 1985). Inicialmente, a barragem reduziu em 30% o volume das descargas, entre 1985 e 2000. No primeiro caso, o rio apresentava descarga média de $108 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e, a zona estuarina, confinada na Baía de Iguape (18km a jusante da barragem). A vazão média foi reduzida para $60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e, com isso, a intrusão salina passou a ser percebida a 15km a montante do ponto inicial (Lima e Lessa, 2001). Recentemente, Pedra do Cavalo foi efetivada como hidrelétrica, passando a gerar de energia, tendo com isso que aumentar as vazões (Genz, 2006).

No Estado da Bahia, os processos de erosão e/ou assoreamento na zona estuarina foram detectados, em associação com a redução da vazão fluvial, decorrente da regularização do fluxo, como ocorreu nos rios Joanes, no litoral norte (Oliveira, 1999) e de Contas, no litoral sul (Campos, 2001). Em ambos os casos, observaram-se maior penetração da água marinha e sedimento de mesma origem. Este comportamento pode ser visto atualmente no estuário do Rio Jacuípe, mesmo com os recentes picos de descargas provocados pela operação da Barragem Santa Helena. Estes picos não devem ter ainda contra-balanceado a importação de sedimentos marinhos associados ao delta de maré enchente (Figura 68e), nem serem suficientes para ejetar os sedimentos da calha fluvial. Como a intenção é transpor a água deste rio futuramente, a tendência é que aumente a importação de sedimento da plataforma interna, já que predomina a assimetria positiva da onda de maré (tempo de subida menor que o de descida) e, esta, somente é invertida com a intensa descarga fluvial (Figura 44 – ver página 71).

A identificação da variabilidade natural das vazões fluviais é importante para o gerenciamento dos recursos hídricos, pois afetam a disponibilidade de água para o abastecimento urbano, os sistemas de irrigação, geração de energia hidrelétrica, e diversas outras atividades. A redução nas descargas de água doce pode gerar ainda a alteração dos padrões de circulação e sedimentação nos estuários, acarretando no déficit de sedimentos para a zona costeira, maior intrusão salina, reorganização espacial do zoneamento ecológico e crescimento ou fechamento das barras de desembocadura. Este último, vem ocorrendo com frequência no litoral da Bahia, onde ocorre a diminuição da seção crítica estuarina (diminuição da embocadura) e em alguns casos, o fechamento das barras de embocaduras dos principais rios ao longo da costa, fenômeno este, possivelmente ocasionado pela perda de competência no aporte fluvial (Figura 68).



Figura 68 – Diminuição da zona crítica estuarina das barras de embocadura ao longo do litoral da Bahia. As figuras referem-se aos rios: Joanes (a), Inhabupe (b), Itariri (c), Itapicuru (d) e Jacuípe (e) todos localizados no litoral norte e o Rio de Contas (f) no litoral sul.

5.2. Marés

A maré oceânica no litoral da Bahia caracteriza-se por ser de *micromaré* (< 2 m) (baseado nos dados das tábuas de marés da Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN). Na entrada da Baía de Todos os Santos (BTS), a altura média é de 1,7 m (Lessa *et al.* 2001) e em uma maré de sizígia em fase equinocial pode atingir 2,6 m (*mesomaré*) no porto de Salvador. Segundo Genz (2006), ao propagar-se no interior da BTS, a onda de maré é comprimida lateralmente, amplificando sua altura, elevando-se para 3,22 m em Coqueiros (Figura 69a). A partir deste ponto, ao penetrar em um ambiente raso (entre Coqueiros e Cachoeira) ocorre atenuação da altura de maré para aproximadamente 3 m (Figura 69b). Segundo ainda o autor, o atrito da maré com o fundo raso do estuário proporciona defasagem de tempo e assimetria da onda de maré. Seguindo alguns quilômetros para NE da entrada da BTS, o mesmo efeito, de atenuação da altura de maré, pode ser sentido no estuário do Rio Jacuípe (Figura 69a), onde a maré oceânica reduz de 1,86 m (sizígia) para 1,3 m no estuário.

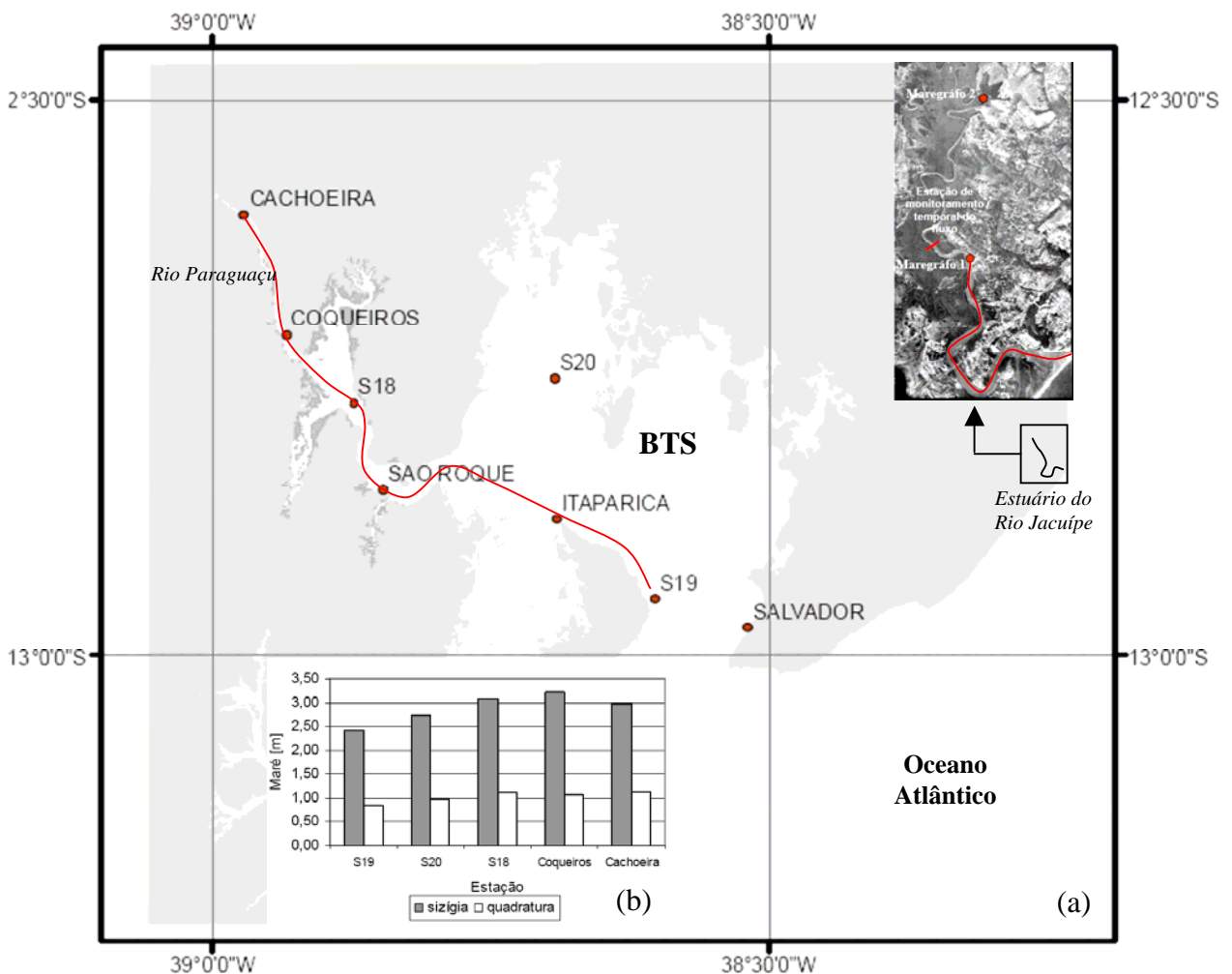


Figura 69 – Situação da BTS em relação ao estuário do Rio Jacuípe (a) e altura de maré no estuário do Rio Paraguaçu (adaptado de Genz, 2006).

O amortecimento da onda de maré verificados no interior do canal do Rio Jacuípe é resultado da distorção da maré astronômica ao penetrar em um sistema raso, encontrado já na embocadura. Este mesmo fator ocasiona distorções na onda de maré, onde o aumento da razão M_4/M_2 indicou ampliação da assimetria na maré gerada no estuário. Segundo Frierichs & Aubrey (1994), estuários rasos tendem a apresentar uma assimetria da onda de maré caracterizada por períodos de enchente mais curtos, conforme os encontrados neste estudo. Esta assimetria tende a gerar velocidades de enchentes mais fortes que as de vazante.

Uma segunda interferência quanto à assimetria da onda de maré, pode ser atribuída à geometria das margens do canal estuarino e a sua ampla planície de inundação. Lessa *et al.* (2001) atribuíram o aumento na distorção vertical da maré, ao transbordamento da borda lateral durante a inundação e emersão das áreas intermareais com superfícies planas. Estas, por sua vez, devem promover pulsos e/ou retenção da maré, alterando as taxas de subida/descida e, conseqüentemente, na predominância do fluxo estuarino e na excursão da maré no estuário.

Se considerarmos apenas o efeito da maré como a forçante principal do estuário do Rio Jacuípe, este deve ser um sistema importador de sedimentos, dada a assimetria assumida pela onda de maré (tempo de enchente menor que o tempo de vazante). No entanto, a assimetria da onda de maré pode ser quebrada, tornando-a mais simétrica, mediante duas situações:

- (i) sob o efeito da intensa descarga fluvial;
- (ii) sob a influência do abaixamento do nível médio do mar

No primeiro caso, devido à coleta de dados ocorrer num período úmido, as constantes e elevadas descarga fluvial contribuíram para maior semelhança entre os tempos de subida e descida, com ligeira predominância do fluxo de vazante, exportando sedimento do estuário. Porém, estas descargas não são oriundas do comportamento natural do rio, mas sim, pelos picos de descargas anômalos gerados pela influência da Barragem Santa Helena (ver discussão item 5.1.2.). Com isso, a tendência atual do estuário do Rio Jacuípe, de importar sedimento para o seu interior deverá ser ampliada, quando iniciar a retirada de água da barragem.

A segunda situação, de abaixamento do nível do mar, ocorre pela influência da direção do vento. Observou-se, que quando sob influência de ventos, oriundos do quadrante E/NE, ocorreu o abaixamento do nível médio (durante uma semana), tornando a maré simétrica, com iguais tempos de subida e descida (ver figura 44 – página 71). Entretanto, a atuação dos ventos oriundos do quadrante S e SE junto à zona costeira, teve o efeito de empilhamento de água na costa (Figura 70), elevando o nível da maré em 0.25 m e aumentando a assimetria. Esta elevação

do nível d'água, poderia ter sido maior, se a onda de maré não fosse amortizada pela cheia fluvial, onde a altura de maré correspondente ao pico de sizígia, de 0.99m (28/05/02) foi inferior a previsão de maré, com altura de 1.13 m. As oscilações encontradas por Lessa *et al.* (2001), em Salvador em 1960 (a aproximadamente 60 km do local) foram semelhantes, onde a amplitude máxima da maré meteorológica atingindo 0.20 m.

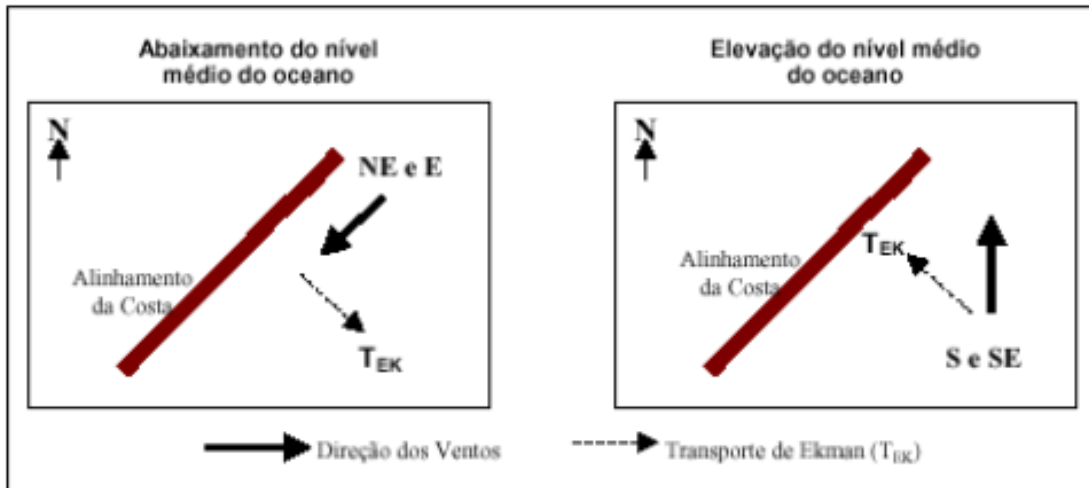


Figura 70 - Modelo de influência da direção dos ventos no abaixamento e/ou elevação do nível médio do oceano para o trecho estudado.

5.3. Padrões de circulação e mistura estuarina

Os processos de circulação e mistura estuarina responderam às variações periódicas da descarga de água doce e da altura de maré. As zonas estuarinas (ZC, ZM e ZR), que são bastante dinâmicas no tempo e no espaço, apresentaram comportamento distinto ao longo do monitoramento.

As três principais condições de mistura puderam ser observadas no estuário do Rio Jacuípe. Em sizígia, coincidindo com a ausência da influência fluvial, o estuário se torna bem misturado, com gradiente longitudinal de salinidade, com todos os parâmetros analisados apresentando valores mais acentuados. Em quadratura, o estuário se caracteriza como parcialmente misturado, devido às menores velocidades de corrente, e menor capacidade de mistura na coluna d'água. Obstante aos primeiros padrões, observou-se uma pequena cunha salina como resultado da pequena intensidade fluvial. Com o aumento da intensidade desta última, passa a ocorrer o bombeamento do rio, condição esta, importante para ejetar possíveis substâncias do estuário.

Geralmente, um comportamento de mistura predomina num determinado sistema estuarino. Entretanto, dois ou mais tipos podem ser observados periodicamente. Estas condições dependem da diferença entre os estágios e períodos (enchente/vazante e sizígia/quadratura) da maré, ou sazonalmente (estação seca e chuvosa) no mesmo estuário e do volume da descarga fluvial (Schoelhamer, 2001; Wolanski *et al.* 1996). Por sua vez, a combinação entre estas variáveis serão as responsáveis pela circulação e renovação das massas líquidas do estuário, de modo a garantir equilíbrio hidrológico do ambiente.

Para tanto, obteve-se a relação de mistura estuarina dada pelo número adimensional R/P (Razão de fluxo), o qual compara os volumes específicos da descarga fluvial (R) e o prisma de maré (P). Neste caso $R = (Q_f \cdot T)$, sendo Q_f a descarga fluvial e T correspondente a meio ciclo de maré. A condição de mistura do estuário pode ser classificada como (Miranda *et al.* 2002):

- ≥ 1 (Altamente estratificado)
- ≈ 0.25 (Parcialmente misturado)
- < 0.1 (Bem misturado)

Três cenários de descarga fluvial foram testados para verificar a condição de mistura, comparando-se com os prismas de sizígia ($4,81 \times 10^6 \text{ m}^3$) e quadratura ($2,69 \times 10^6 \text{ m}^3$), com diferentes volumes de água doce, a partir da Razão de fluxo (R/P), sendo eles:

Cenário 1 – vazões inferidas, com intervalo linear de $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e os prismas de maré de sizígia e quadratura (Figura 71a);

Cenário 2 – as vazões médias mensais estimadas (janeiro a dezembro) de toda a bacia, antes de represada pela barragem e os prismas de maré de sizígia e quadratura (Figura 71b);

Cenário 3 – as vazões médias mensais estimadas da área a jusante da Barragem de Santa Helena (BSH), que fornece aproximadamente 24% do volume total de água doce, e os prismas de maré de sizígia e quadratura (Figura 71c).

O modelo sugeriu que: *i*) se ocorrer descarga fluvial inferior a $25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, em sizígia e quadratura, respectivamente, no estuário do Rio Jacuípe predominará as condições marinhas, com o estuário bem misturado (Figura 71a); *ii*) considerando a condição natural de descarga do rio ao longo do ano, apenas nos meses úmidos (abril a agosto), com o aumento da vazão, o estuário deve se tornar parcialmente misturado, com tendência para altamente estratificado (Figura 71b). Nos meses considerados como seco (setembro a março), deverá predominar as

condições marinhas, com a coluna d'água bem misturada; *iii*) estabelecendo-se o cenário da captação de água doce limitada a jusante da barragem, não deverá ocorrer diluição da água marinha no estuário, em nenhuma condição de maré (Figura 71c).

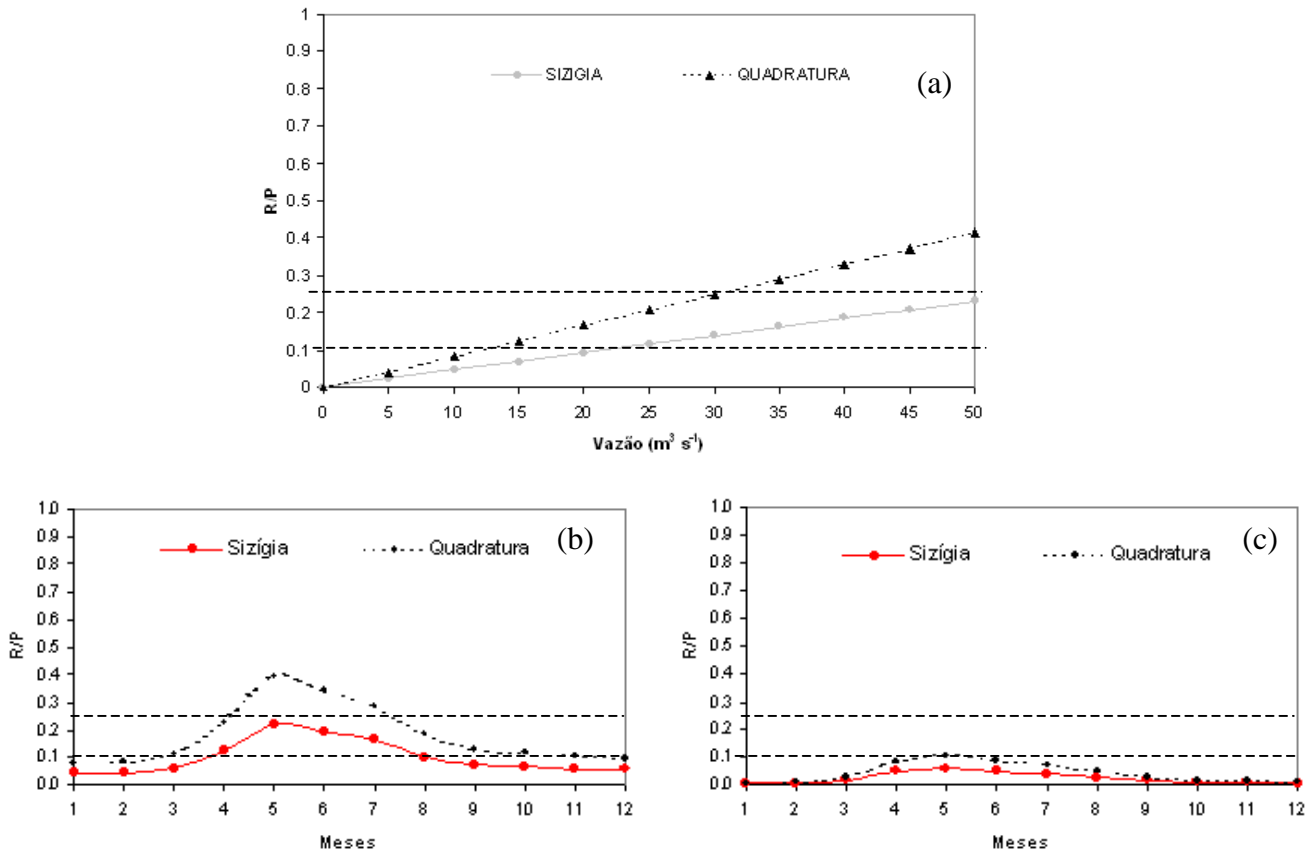


Figura 71 - Razão de fluxo (R/P) entre os prismas de sizígia e quadratura, comparando ao volume total de água doce com intervalo linear de $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (a), o fluxo natural mensal que deveria fluir para a zona estuarina (b) e com descarga referente apenas à captação a jusante a barragem de Santa Helena (c). As linhas tracejadas horizontais separam a condição de mistura, em bem misturado ($< 0,1$) e parcialmente misturado ($\approx 0,25$).

Os dados medidos em campo mostraram que no dia 07/07/02, o estuário apresentou-se na condição de cunha salina, com descarga da barragem de $8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ em fase da maré intermediária. Para ter se formado a condição de cunha salina acima, o estuário deve ter tido contribuição de outras fontes de água doce. Por inferência, espera-se que a mistura estuarina para uma maré intermediária deveria ter ocorrido com uma vazão de aproximadamente $20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Provavelmente, parte desta água deve ter origem da área a jusante da barragem, por ter precipitado cerca de 10 mm no dia anterior, o que deve ter gerado uma descarga semelhante à ocorrida na barragem. Vale ressaltar também que, com base no Mapa Hidrogeológico do Estado da Bahia, o curso final do Rio Jacuípe apresenta um grande potencial da vazão de base (recarga subterrânea).

Os dados dos levantamentos de campo corroboraram com a previsão de mistura, estabelecida pela relação R/P. Estes mesmos dados também foram utilizados para determinar o *flushing time*, que é o tempo de descarga em horas, com capacidade de renovação das massas líquidas no estuário. Neste caso, levando-se em consideração a condição de circulação e mistura da coluna d'água, estabelecida pela descarga fluvial e pela compartimentação do estuário na área a jusante do ponto de monitoramento.

Como resultado, espera-se que a descarga fluvial deve ser considerada como fator determinante, para a capacidade de troca de água no estuário do Rio Jacuípe. As estimativas mostraram que a liberação de $70 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ da BSH, combinada a uma maré quadratura, o tempo de descarga será de apenas 3.5 h (observado no dia 16/06/02). Contrapondo-se a esta situação, no caso da descarga de água doce se limitar apenas à área jusante da Barragem de Santa Helena, cenário este possível, com a transposição das águas entre as barragens, mesmo no período de maior precipitação não ocorrerá renovação destas. Os valores do tempo de descarga calculados demonstraram que seria necessário 30.000 h para ocorrer à troca da água no estuário, combinando uma maré de sizígia com a ausência de descarga fluvial (Tabela 13).

Valores próximos da média da descarga fluvial total, escoado em condições natural ($21,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) e próximo da média liberada pela barragem atualmente ($9,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), puderam ser contemplados durante o monitoramento e comparados à condição de renovação da massa d'água estuarina. A simulação mostrou que uma descarga de $20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, em quadratura proporciona a troca de água do estuário em aproximadamente $1 \frac{1}{2}$ ciclos de maré (simulada em 19/05/02). Com a mesma descarga, em período de sizígia (09/07/02) deverá ocorrer com o dobro do tempo, em 35 h (Tabela 13). O *flushing time* com uma vazão próxima da média atual liberada pela barragem, observada em condição intermediária da maré foram de 46,7 h (07/07/03).

Tabela 13 – Capacidade (em horas) de remoção de substâncias considerando as trocas de água do estuário do Rio Jacuípe.

<i>Flushing Time</i> (dados de 2002)	27/04	19/05	16/06	7/7	9/7	12/7	31/07
Maré	S	Q	Q	I	S	S	Q
Descarga da barragem ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)	0	20	70	8	20	24	47
Tempo de descargas (horas)	30502.2	17.72	3.56	46.72	35.38	31.01	9.11

S = sizígia, Q = quadratura e I = intermediária.

A análise multivariada por sua vez, que foi estabelecida entre os fatores hidrodinâmicos neste trabalho não apresentou resultados satisfatórios. A partir das combinações da descarga liberada pela Barragem Santa Helena, com a elevação da maré e a precipitação na bacia do Rio Jacuípe poder-se-ia saber as diferentes condições da intrusão salina.

A análise deveria ajudar a compreender as características hidrogeoquímicas das amostras coletas pela Empresa Ambiental da Bahia – CETREL, no plano de auto-recuperação do estuário do Rio Jacuípe e o grau de volatilização a que um determinado contaminante pode se submetido. Testou-se a combinação entre a intrusão salina e cada variável e foi constatado que a deficiência do método utilizado, esteve ligada aos dados de maré. Este fato, deve ter sido decorrente do amortecimento da altura de maré na embocadura, o que deve ter sobrepujado a intrusão salina, gerando uma margem de erro expressiva e invalidando o modelo.

5.4. Sedimento de fundo

As populações granulométricas observadas obedecem aos padrões de distribuição de fácies estuarinas, compatível aos modelos propostos por Dalrymple *et al.* (1992), encontrando-se:

- na desembocadura - sedimento marinho;
- na parte central - sedimento misto;
- na parte superior - sedimento fluvial.

A areia fina e muito fina que ocorre entre os quilômetros 1 e 5 deve, em boa parte, ter sido fornecida pelo retrabalhamento das margens e do substrato, associados à construção da planície costeira com sedimentos marinhos, quartzosos e bem selecionados, depositada nos últimos milênios (Accioly, 1997). Os sedimentos marinhos encontrados junto à barra de desembocadura, evidenciados pelo delta de maré enchente, não deve ter acúmulo muito grande. Porém, os picos de intensa descarga gerados pela barragem, não devem ter ainda contra-balanceado a importação destes sedimentos (ver figura 68e), nem serem suficientes para ejetá-los da calha fluvial.

Parte do grau de selecionamento dos sedimentos, de moderadamente a pobremente selecionado, reflete as variações hidrodinâmicas sofridas no ambiente e não à distância da área fonte, fruto das grandes variações batimétricas e geométricas do canal. No caso de sistemas meandantes (no setor mais interno do estuário), ocorre à migração lateral do meandro, com os processos de erosão e acumulação, nas margens côncavas e convexas, respectivamente. Nas margens escavadas, de maiores profundidades, sedimentos associados a antigos ambientes de sedimentação fluvial, podem aflorar no talvegue do canal, formando ai uma janela estratigráfica. Isto explica os fragmentos de conglomerado encontrados localmente.

A batimetria também exerceu influência na captação de sedimentos finos, onde as depressões encontradas funcionam como área de acumulação desta granulação. Estas depressões devem ter sido escavadas pelas correntes, que no passado deveriam ter sido mais intensas. Hoje, por não atuarem com tanta eficácia junto ao fundo, acumula os sedimentos finos nestas áreas.

O sedimento de natureza mista (fragmento vegetal e concha), encontrado na parte central do estuário, reflete as variações sazonais sofridas no campo da velocidade e direção preferencial das correntes de maré ou fluvial (Wu & Shen, 1999). A morfologia meandrante entre os quilômetros 10 e 20, assim como a diminuição da largura do canal, devem estar associados à diminuição da energia fluvial e marinha (Dalrymple *et al.* 1992). Como resultado, inúmeros meandros abandonados podem ser observados ao longo do curso estuarino (Figura 72).

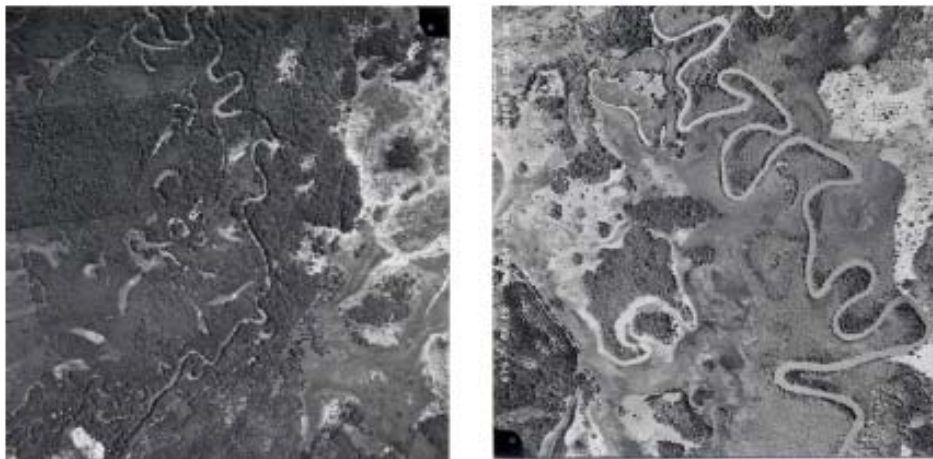


Figura 72 – Aumento da sinuosidade na cabeceira do estuário, e em segundo plano os meandros abandonados ao longo da margem direita do estuário do Rio Jacuípe

A área 2, com uma grande quantidade de fragmentos vegetal, dada à baixa densidade do material, de fácil suspensão deve ser relevante na turbidez estuarina, devido a composição do fundo do estuário ser predominante de areia quartzosa. Esta área coincidiu com a zona de maior turbidez no estuário (baixamar), que será discutida adiante.

5.5. Turbidez

A circulação de sedimentos em suspensão nos estuários tem característica cíclica. Durante um ciclo de maré, a troca de sedimento entre a coluna d'água e o fundo é bastante dinâmica. Nos estuários parcialmente misturados, com circulação gravitacional, os sedimentos fluviais em suspensão são transportados na superfície em direção ao mar. Já os sedimentos decantados são carregados em direção a cabeceira do estuário (Dyer, 1995). Por outro lado, as partículas de sedimentos finos que entram no estuário podem ser depositadas na maré de quadratura (formando a lutoclina) e posteriormente ressuspensas nas marés de sizígia, torna o estuário bem misturado, aumentando a turbidez na coluna d'água (Schoelhamer, 2001; Dyer, 1995).

Ambos aspectos podem ser adequados ao estuário do Rio Jacuípe, devido as diferentes condições de circulação e mistura. Contudo, a maior turbidez esteve associada à intensidade das correntes, observada durante as marés de sizígia, que quebrou a estratificação vertical, sendo capazes de ressuspender o pouco material inconsolidado junto ao fundo.

A zona de maior turbidez parece coincidir com a área preferencial para deposição dos sedimentos de granulação fina localizada entre 5 e 9 km, contendo uma grande quantidade de fragmentos vegetal (Figura 73). Vale ressaltar que todas as amostras coletas, deram-se na maré vazante ou próximo da baixamar, o que explicaria por que a maior turbidez da baixamar coincidir com este mesmo trecho do estuário. Este material orgânico deve ser relevante na formação da ZTM. Esta hipótese deve ser apreciada, pois estas partículas vegetais, devido a sua baixa densidade, devem ser facilmente ressuspensas e transportadas, aumentando a turbidez na coluna d'água.

Burchard & Baumert (1998) fizeram correlações entre a localização da ZTM e a distribuição do sedimento fino observado em muitos ambientes estuarinos. Segundos os autores duas interpretações são possíveis: (i) a concentração de lama (resultado dos depósitos do material particulado em suspensão no fundo) é a causa da formação da ZTM quando esta é colocada em suspensão na coluna d'água e (ii), vice versa, a ZTM é governada por outros efeitos e representa a causa dos depósitos do material particulado em suspensão no fundo.

Possivelmente, a maior turbidez estuarina deve estar também associada ao processo de floculação, que ocorre preferencialmente em salinidade de 1 a 4 (Thill *et al.* 2001). No estuário do Rio Jacuípe, a maior turbidez ocorre na interface entre a água doce e salobra, em ambiente oligohalino (salinidade entre 0,5 e 5 ups), local onde foram encontrados também a maior quantidade sedimento fino depositado no fundo, exceto quando ocorreu elevada descarga fluvial, onde esta deve lavar o manguezal e carrear a lama fluida em suspensão.

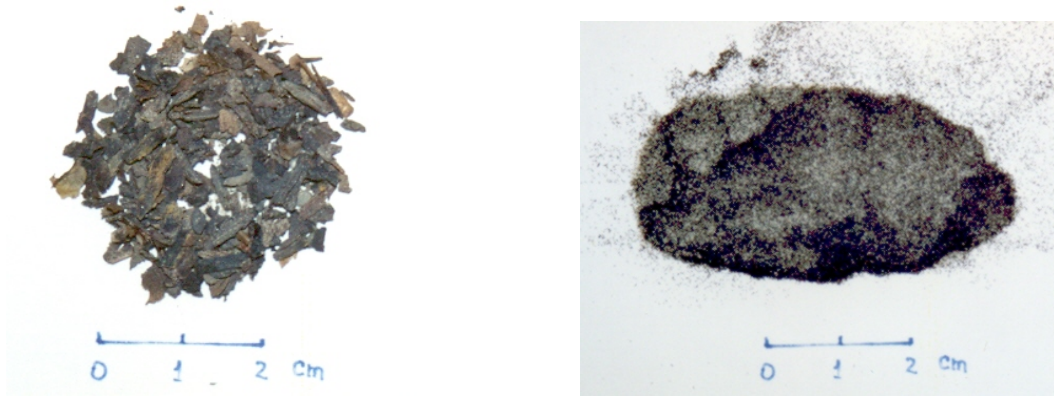


Figura 73 – Fragmentos de vegetal (cor escura) encontrado depositado como parte do sedimento de fundo, na esquerda a fração cascalho e na direita a fração areia.

Apesar da inexistência de estudos sedimentológicos que quantifiquem o aporte de sedimentos finos do estuário do Rio Jacuípe, pode ser sugerido que o suprimento deste deve ser atualmente relativamente baixo. O estuário em si, encontra-se instalado sobre a planície costeira, constituída predominantemente, de areia. Somando-se a isto, deve ocorrer déficit de sedimento fino no estuário, devido o aprisionamento dos mesmos a montante da Barragem de Santa Helena e a área a jusante do barramento, com pequena dimensão, deve contribuir com pequena descarga sedimentar. A turbidez máxima, de 147 NTU, observada nos perfis longitudinais, resultou da sincronia entre intensa descarga fluvial e as correntes de sizígia. Somando-se a isso, tal medida foi encontrada depois de cessada a corrente de vazante, que com menor coluna d'água atuaram com maior veemência junto ao fundo. Ao contrário dos rios com grandes extensões que tendem a apresentar grandes descargas de sedimentos finos. O Rio Mekong, localizado no Vietnã, está entre os 10 rios que possuem as maiores concentrações de sedimento em suspensão do mundo, em média cerca de 300 mg/l (Wolanski *et al.* 1996).

Da mesma forma, os estuários dominados por micromaré apresentam baixa turbidez, com concentrações de sedimento em suspensão de 100/200 mg/l. Turbidez elevada está associada a estuários de macromaré, onde a concentração de sedimento em suspensão pode alcançar de 1000/10000 mg/l (Clippele, 1998). O máximo da CSS medida no Rio Jacuípe atingiu 31 mg/l, durante o monitoramento temporal do fluxo, ocorreu em sizígia (27/04/02), com ausência de descarga da barragem. Baixa turbidez estuarina ocorre também no Rio Paraguaçu, atualmente barrado pela Represa de Pedra do Cavalo e com substrato arenoso no trecho entre a cidade de Cachoeira (ver figura 69 – página 103). A máxima concentração de sedimento em suspensão encontrada foi de 80 mg/l, com descarga da barragem de $410 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e em período de sizígia (Genz, 2006), cuja altura de maré neste período costuma superar 3 m (mais que o dobro em relação ao Rio Jacuípe).

5. CONCLUSÕES

*O Homem não teceu a teia da vida.
Ele é apenas um fio dessa teia.
O que quer que ele cause à teia,
causa a si mesmo ...*

(Uati, 1985)

Este trabalho analisou a variabilidade dos mecanismos controladores da circulação e mistura estuarina, envolvendo diferentes condições do prisma de maré e da vazão fluvial no estuário do Rio Jacuípe, localizado no Litoral Norte do Estado da Bahia. Tais condições foram associadas à dinâmica sedimentar do estuário. Sendo assim, os dados obtidos e comparados com as informações da literatura pertinente levam-nos a concluir o seguinte:

- O fluxo do Rio Jacuípe foi alterado com a operação da Barragem Santa Helena no que diz respeito à magnitude e ao regime de descarga. A alteração atingiu os extremos da curva de descarga, onde a ausência de descarga passou a ocorrer com períodos mais prolongados e, devido à retenção de água do reservatório elevou os picos de cheias. Futuramente, a descarga pode ficar limitada quando iniciar a transposição de água da barragem (curto prazo). A captação da pequena área a jusante da represa é reduzida e apenas esporadicamente deverá promover diluição da água marinha e no transporte de sedimentos. Dada a descarga de efluentes industriais e esgotos domésticos na bacia de drenagem, a dificuldade de renovação da massa d'água poderá comprometer a salubridade do estuário.
- A maré é assimetricamente positiva, com tempo de subida 1 ½ horas mais curto que o tempo de descida. Esta assimetria é decorrente das características da geometria e batimetria do estuário. Contudo, quando sob influência de intensa descarga fluvial (nunca antes observada em condições naturais) ocorre o truncamento da maré, passando esta a ter assimetria negativa. A maré passa a ser simétrica, quando sob influência das marés meteorológicas ocorre abaixamento do nível da maré.
- O estuário do Rio Jacuípe mostrou-se dominado pela circulação gravitacional. Com a ausência de descarga fluvial, em marés de quadratura predomina a condição de parcial mistura e, em sizígia, a condição de total mistura. Quando ocorre intensa descarga fluvial ocorre o bombeamento do rio, com fluxo exclusivamente de vazante no médio curso do estuário e predomínio de água doce.
- Dos objetivos estabelecidos neste trabalho, o modelo que previa a extensão da intrusão salina no estuário não pode ser atingido. Apesar das variáveis apresentarem estreita correlação entre si, a margem de erro apresentada invalidou o seu uso.
- No que diz respeito a parte sedimentológica, o estuário do Rio Jacuípe é constituído de areia siliciclástica, composta predominantemente por quartzo, com diâmetro médio variando de areia média a areia fina em 90% das amostras e pouca presença de sedimentos finos acumulados no fundo do canal. Por causa disto, o substrato pouco contribui para o aporte de sedimentos em suspensão. Na embocadura ocorre maior contribuição de bioclastos de origem marinha (fragmentos de alga calcária, micro

gastrópodos e conchas), na porção central encontram-se ostras e fragmentos de bioclastos estuarinos (*Crassostrea* sp. e *Anomalocardia brasiliiana*), intercalando-se a uma fácies mista, contendo inclusive fragmentos vegetais, provavelmente de origem do manguezal. Da cabeceira até os 9 km finais do estuário predomina sedimento de maior influência fluvial. A batimetria, a morfologia meandrante e as variações da energia hidrodinâmica são as principais responsáveis pelo mal selecionamento do sedimento.

- O estágio é relativamente raso, predominando profundidades inferiores a 3m. Depressões de até 9.5m estão associadas ao alinhamento do canal com o prolongamento da Falha de Salvador e a margem erosiva dos meandros, que em alguns casos, quando escavados empõem o material mais antigo de sedimentação fluvial.
- A localização da área potencial para deposição de sedimentos finos e para maior concentração de sedimento em suspensão no estuário do Rio Jacuípe, fixou-se entre os Km 5 e 9. Em segundo plano, a maior turbidez ocorreu na interface entre a água doce e salobra, em ambiente oligohalino.

6.

BIBLIOGRAFIA

- Accioly P.C.V. 1997. *Evolução Quaternária e Dinâmica Atual da Planície Costeira de Arembepe, Litoral Norte do Estado da Bahia*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 105p.
- BAHIA, Governo do Estado 2000. *Mapa Geológico Digital do Estado da Bahia*. Companhia Baiana de Pesquisa Mineral. Meio Digital.
- BAHIA, Governo do Estado 1981. *Qualidade das Águas e Sedimentos: Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe*. Seplantec – Salvador, 143 p.
- Bonetti Filho J. & Miranda L.B. 1997. Estimativa da Descarga de Água Doce no Sistema Estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape. *Rev. Bras. Ocean.*, 45(1/2):89-94.
- Brandt, S. A. 2000. Classification of Geomorphological Effects Downstream of Dams. *Catena*, 40, pp. 375-401.
- Burchard & Baumert, 1998. The Formation of Estuarine Turbidity Maxima due to Density Effects in the Salt Wedge. A Hydrodynamic Process Study. *Ame. Met. Soc.*, 25: 309-321.
- Callegari-Jacques S.M. 2004. *Bioestatística. Princípios e Aplicações*. Artmed, Porto Alegre-RS, 255pp.
- Campos E.V.M. 2001. *O Assoreamento do Baixo Curso do Rio de Contas: uma abordagem hidráulica e sedimentológica*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 76p.
- CETREL 1995 a 2000. *Relatórios Técnicos de Auto-recuperação Ambiental do Estuário do Rio Jacuípe-Ba*. Publicação interna.
- Clippele J. 1998. Cohesive Sediment Transport in the Tagus Estuary. Diplôme d'Etudes Approfondies Européen en Modélisation de l'Environnement Marin ,Erasmus. (não publicado).
- CONDER, 1989. Mosaico de Fotografias Aéreas do Litoral Norte do Estado da Bahia. Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia.
- Dalrymple R.W., Zaitlin B.A., Boyd R. 1992. Estuarine Facies Models: Conceptual Basis and Stratigraphic Implications. *Journ. Sedim. Petrol.*, 62 (6): 1130-1146.
- Da Silva E.M., Accioly M.C, Navarro M.F.T., Chastinet C.B.A. 1994. Baía de Todos os Santos: Situação Atual e Perspectivas. *Rev. Econ. Nord.*, 2:207-232.
- Dionne J.C. 1963. Towards a More Adequate Definition of the St. Lawrence estuary. *Geomorph.*, 7: 36-44.
- Dyer, K.R. 1986. Coastal and Estuarine Sediment Dynamics. John Wiley & Sons. p. 232.
- Dyer K.R. 1988. *Coastal and Estuarine Sediment Transport*. A Wiley – Interscience Publication. Institute of Oceanographic Sciences. Bidston, UK. 342p.
- Dyer K.R. 1995. Sediment Transport Processes in Estuaries. In: G.M.E. Perillo (ed). *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Developments in Sedimentology 53, Elsevier, pp.: 423-449.
- Dyer K.R. & Manning A.J. 1999. Observation of the Size, Settling Velocity and Effective Density Of Flocs, and Their Fractal Dimensions. *JCR*. 41: 87-95.

- Elliott M. & McLusky D. S. 2002. The Need for Definitions in Understanding Estuaries. *Estuarine. Coast. Shelf Sci.*, 55: 815-827.
- Fernandes L.D.F. 2001. *Transporte de Poluentes em Estuários*. Trabalho Final de Curso da Licenciatura em Engenharia do Ambiente. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 40p.
- Folk R.L. & Ward W.C. 1957. Brazos River Bar: A Study in the Significance of Grain-Size Parameters. *Jour. Sedim. Res.*, 27(1):3-26.
- Friedrichs C.T. & Aubrey D.G. 1994. Tidal Propagation in Strongly Convergent Channels. *Journ. Geophys. Res.*, 99:3321-3336.
- Genz F., 2006. Avaliação dos Efeitos da Barragem Pedra do Cavalo Sobre a Circulação Estuarina do Rio Paraguaçu e Baía de Iguape. Tese de doutorado. Universidade Federal da Bahia, Brasil, 245p.
- Genz F., Lessa G.C., Cirano M., Lima G.M.P. 2003. As Tendências de Longo Prazo das Vazões Fluviais no Litoral do Estado da Bahia. In: *IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, Anais.
- Geyer W. R. 1997, Influence of Wind on Dynamics and Flushing of Shallow Estuaries. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 44: 713-722.
- Hansen D.V. & Rattray M. 1965. Gravitational Circulation in Straits and Estuaries. *Journ. Mar. Res.*, 23: 104-122.
- Hansen D.V., Rattray J.R.M. 1966. New Dimensions in Estuarine Classification. *Limnol. Ocean.*, 18: 849-862.
- Hastenrath S., Heller E L. 1977. Dynamics of Climatic Hazards in Northeast Brazil. *Quart. Jour. Res. Meteor. Soc.*, 110: 411-425.
- Hayes, M.O. 1975. Morphology of Sand Accumulation in Estuaries. In: L.E. Cronin (Ed), *Estuarine Research*. Academic Press, New York, vol. 2, pp. 3-22.
- Hume T.M. & Bell R.G. 1993. Methods for Determining Tidal Flows & Material Fluxes in Estuarine Cross-sections. *Water Quality Center Publication* n. 32. Hamilton, New Zealand. 43p.
- IPCC - *Intergovernmental Panel of Climate Change*. 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability – Contribution of Working Group II to the IPCC Third Assessment Report
- Kjerfve B., Schettini C.A.F., Bastiaan K., Lessa G.C., Ferreira H.O. 1996. Hydrology and Salt Balance in a Large, Hypersaline Coastal Lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 42: 701-725.
- Kjerfve B., Ribeiro C.H.A., Dias G.T.M., Filippo A.M., Quaresma V.S. 1997. Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. *Cont. Shelf Res.*, 17(13):1609-1643.
- Lessa G.C., Dominguez J.M.L., Bittencourt A.C.S.P., Brichta A. 2001. The Tides and Tidal Circulation of Todos os Santos Bay, Northeast Brazil: a General Characterization. *An. Acad. Bras. Ciên.*, 73(2):245-261.
- Lima, G. M. P.; Lessa, G. C. 2001. The Fresh-Water Discharge in Todos os Santos Bay (Ba) and its Significance to the General Water Circulation. *Revista Pesquisas em Geociências*, 28(2):85-96.

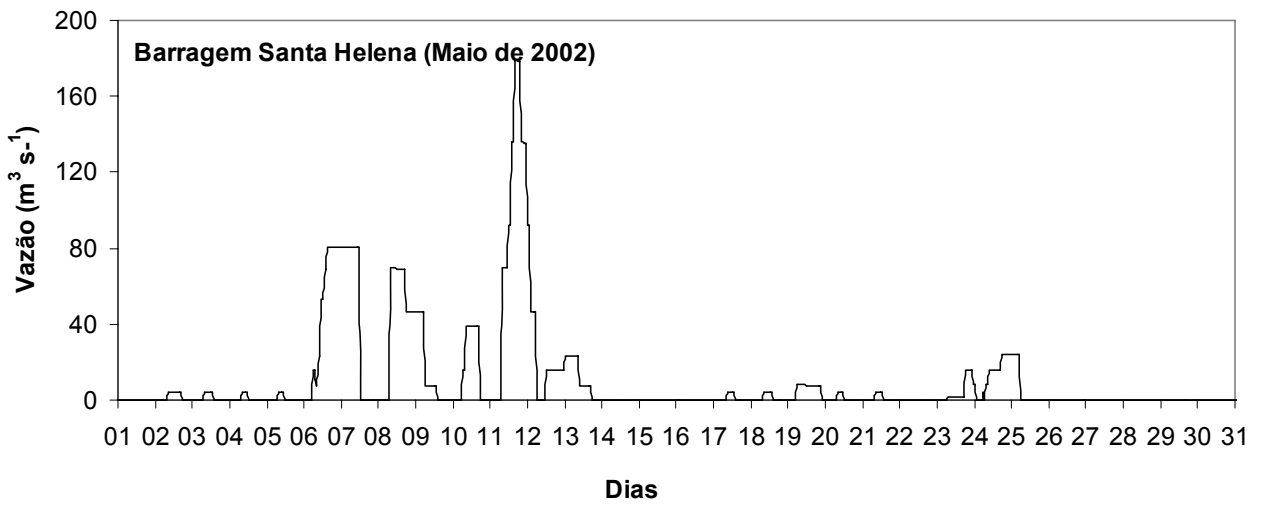
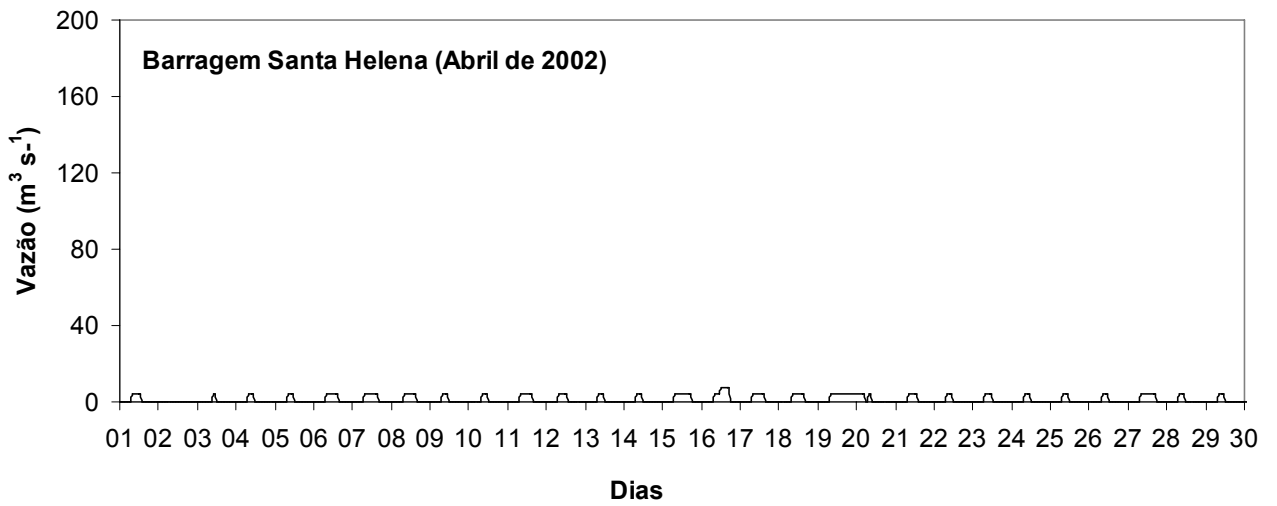
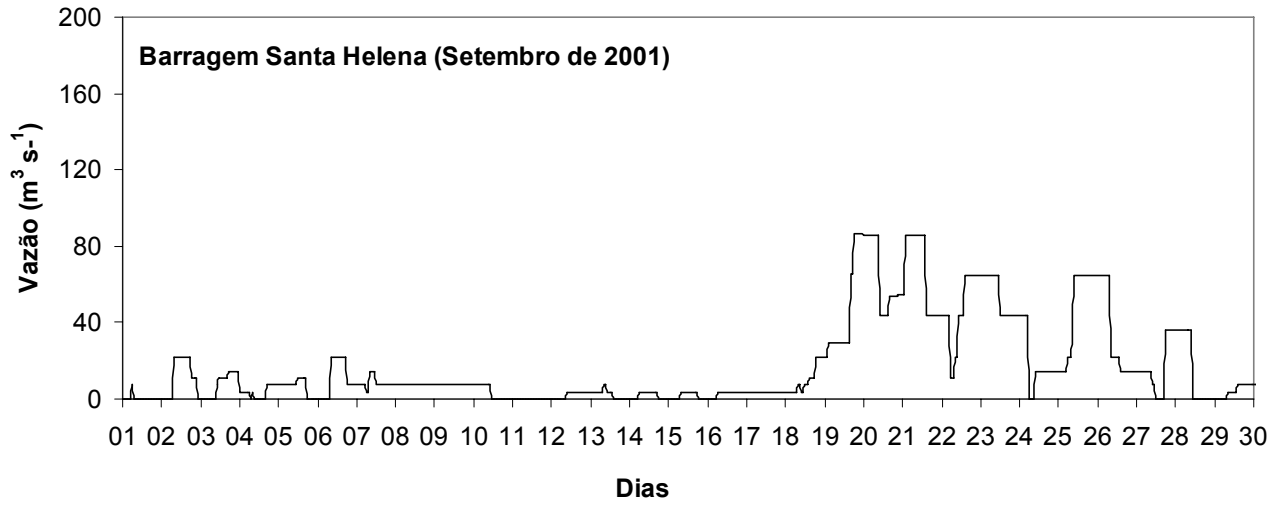
- Lima, G. M. P.; Lessa, G. C., 2003. Padrões de Circulação e Mistura Estuarina do Rio Jacuípe – Litoral Norte do Estado da Bahia. IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário - ABEQUA. Boletim de Resumos.
- Mantovanelli A. 1999. *Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em suspensão na Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem*. Dissertação de Mestrado. UFPR, Dept. Geologia. 152p.
- Marengo, J. A., Tomasella J. 1998. Trends in Streamflow and Rainfall in Tropical South America: Amazonia, Eastern Brazil and Northwestern Peru. *Journ. Geophys. Res.*, 103:1775-1783.
- Martin, L., Bittencourt, A.C.S.P., Vilas Boas G.S., Flexor J.M. 1980. *Texto Explicativo para o Mapa Geológico do Quaternário Costeiro do Estado da Bahia*. Escala 1:250 000. CPM/SME. Salvador. 60p.
- Mcanally W.H. & Mehta A.J. 2001 Collisional Aggregation in Fine Estuarial Sediment. In: *Coastal and Estuarine Fine Sediment Processes*. Elsevier, Amsterdam, pp. 19-37.
- Miranda L.B., Castro B.M, Kjerfve B. 2002. *Princípios de Oceanografia Física de Estuários*. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo. 414 p.
- Molion L., Moraes,J. 1987. Oscilação Sul e Descarga de Rios na América do Sul tropical. *Rev. Bras. Eng., Caderno de Hidrologia*, 5(1): 53-63.
- Nichols, M. M. 1986. Effects of Fine Sediment Resuspension in Estuaries, In A. J. Mehta (ed.), *Estuarine Cohesive Sediment Dynamics*. Springer Verlag, New York. p. 5–42.
- Nobre P. & Melo A.B.C. 2001. *Variabilidade climática intrasazonal sobre o nordeste do Brasil em 1998-2000*. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE.
- Nobre P. & Shukla J. 1996. Variations of SST, Wind Stress and Rainfall over the Tropical Atlantic and South America. *Journ. Clim.*, 9: 2464-2479.
- Oliveira M.Q.C. 1999. *Impacto das Mudanças no Uso do Solo nas Características Hidrossedimentológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Joanes e sua Repercussão na Zona Costeira*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 93p.
- Pekárova P., Miklánek P., Pekár J. 2003. Spatial and Temporal Runoff Oscillation Analysis of the Main Rivers of the World During the 19th–20th Centuries. *Journ. Hydrol.*, 274: 62-79.
- Perillo G.M.E. 1995. Definitions and Geomorphologic Classification of Estuaries. In: *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Chapter 2. Developments in Sedimentology, 53, Elsevier Science.
- Perjurup M. 1988. The Triangular Diagram Used for Classification of Estuarine Sediments: A New Approach. In: P.L. de Boer, A. van Gelder, S.D. Nio (eds.) *Tide-Influenced Sedimentary Environments and Facies*, Reidel, Dordrecht, pp.: 289-300.
- Pritchard D.W. 1967. What is an Estuary: Physical Viewpoint. In: G.H. Lauff (ed.) *Estuaries*. American Association for the Advancement of Science, Publication 83, Washington D.C., pp.: 3-5.
- Pritchard D.W. 1952. Estuarine Hydrography. In: *Advances in Geophysics*, Vol 1, Academic press, New York, pp.: 243-280.

- QUEIROZ I. G. 2003. Produção de Sedimento e Alterações no Regime Hidrossedimentológico da Bacia Hidrográfica do Rio Mucuri – Repercussão na Zona Costeira. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, 112 p.
- Restrepo J.D. & Kjerfve B. 2002. The San Juan Delta, Colombia: tides, circulations, and salt dispersion. *Cont. Shelf Res.*, 22: 1249-1267
- Schoelhamer D. H. 1996. Factors Affecting Suspended Solids Concentrations in South San Francisco Bay – California. *Journ. Geophys. Res.*, 101:1112087-12095.
- Schoelhamer D.H. 2001. Influence of Salinity, Bottom Topography, and Tides on Locations of Estuarine Turbidity Maxima in Northern San Francisco Bay. Elsevier Science, pp.: 343-357. URL: <http://ca.water.usgs.gov/abstract/sfbay/elsevier0102.pdf>
- Schoelhamer D.H. 2002. Variability of Suspended Sediment Concentration at Tidal to Annual Time Scales in San Francisco Bay, USA. *Cont. Shelf Res.*, 22:1857-1866.
- Sheppard 1954. Nomenclature Based on Sand, Silt, Clay Ratios. *Journ. Sed. Petrol.*, 3:151-158.
- SRH, 2003. Sistema de Informações Georeferenciadas. Governo do Estado da Bahia. Superintendência de Recursos Hídricos. Série: Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos - SIRH. Volume 1. Meio Digital.
- Thill A., Moustier S., Garnier J.M., Estournel C., Naudin J.J., Bottero J.Y. 2001. Evolution of particle size and concentration in the Rhône river mixing zone: influence of salt flocculation. *Cont. Shelf Res.*, 21:2127-2140.
- Tucci C.E.M. 1997. *Hidrologia* - Porto Alegre - RS: Editora Universidade / UFRGS / Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 943p.
- Tucci C.E.M. 1998. *Modelos Hidrológicos* – Porto Alegre - RS: Editora Universidade / UFRGS / Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p.
- Uncles R.J., Barton M.L., Stephens J.A. 1994. Seasonal Variability of Fine-sediment Concentrations in the Turbidity Maximum Region of the Tamar Estuary. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 38: 19-39.
- USBR 1966. In: Arauz. I.J., 2005. *Vertedor de Superfície e Escoamento sob Comportas*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 116p.
- Wentworth C. K. 1922. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. In: K. SUGUIO (1973). *Introdução à Sedimentologia*. Editora Edgard Blucher, Universidade de São Paulo, SP. 316 p.
- Wolanski E., Huan N.N., Dao L.T., Nhan N.H., Thuy N.N. 1996. Fine-sediment Dynamics in the Mekong River Estuary, Vietnam. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 43: 565-582.
- Wu, J. X. & Shen. H. T., 1999. Estuarine Bottom Sediment Transport Based on the 'McLaren Model': A Case Study of Huangmoahai Estuary, South China. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 49:265–279.

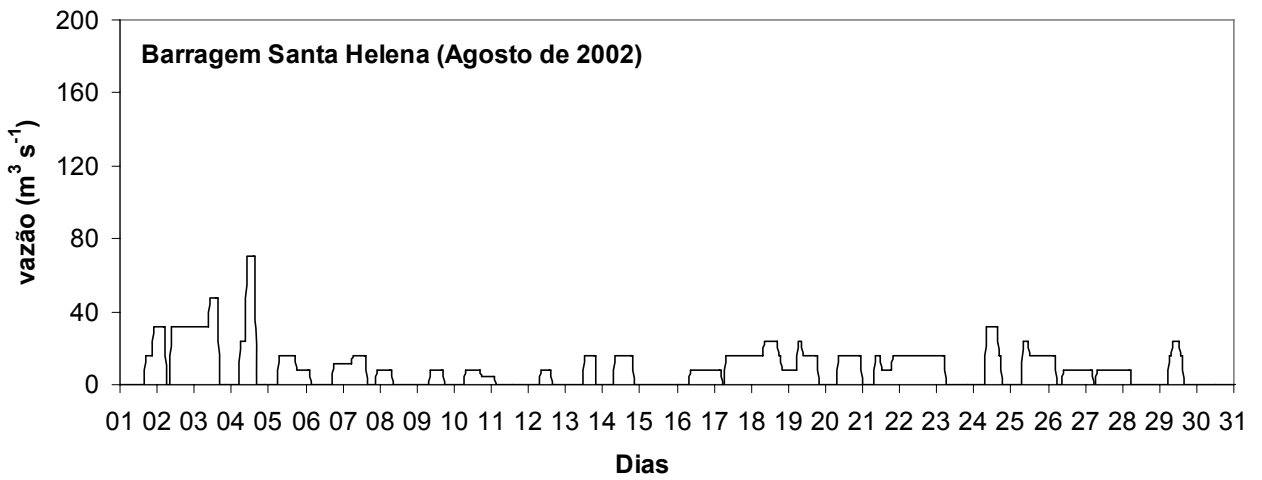
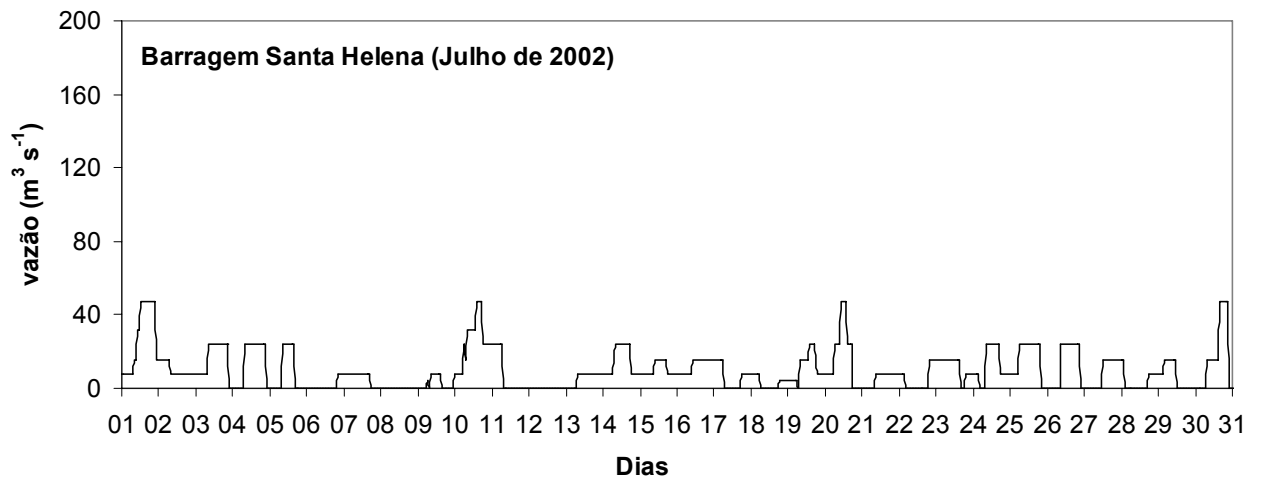
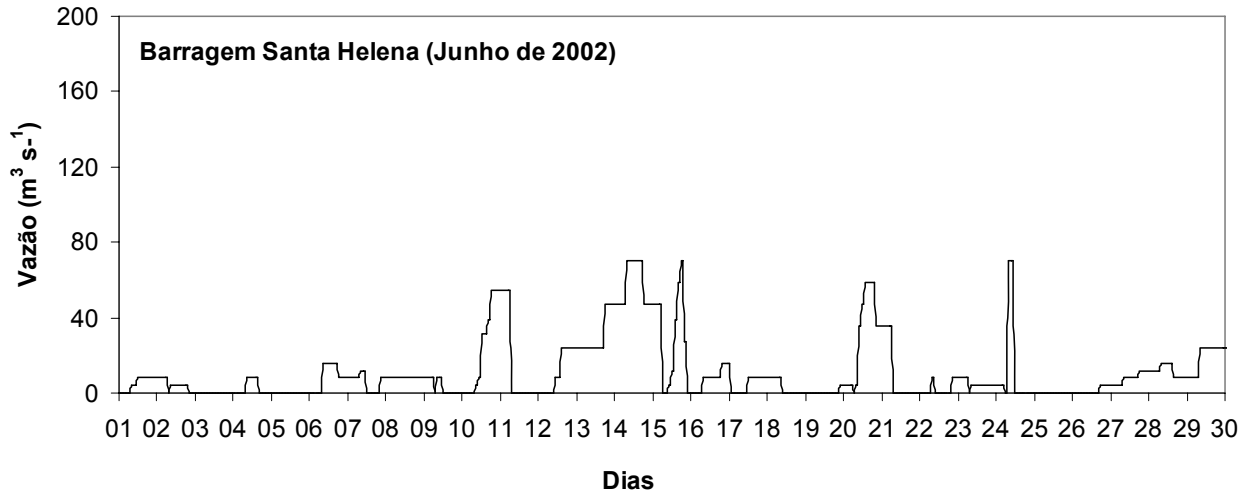
7.

ANEXOS

ANEXO 1 - Descargas da Barragem Santa Helena (dados referentes ao período de monitoramento)



Continuação



Anexo 2 - Escala granulométrica para as frações dos sedimentos grossos (cascalho e areia) (Wentworth, 1922) e dos sedimentos finos (silte e argila) (Dyer, 1986).

Classificação de Wentworth	Classe Textural	Diâmetro do Grão
		<i>Phi (Φ)</i>
Cascalho		<1
Areia	Areia muito grossa	0
	Areia grossa	1
	Areia média	2
	Areia fina	3
	Areia muito fina	4
Silte	silte grosso	5
	Silte médio	6
	Silte fino	7
	Silte muito fino	8
Argila		>9

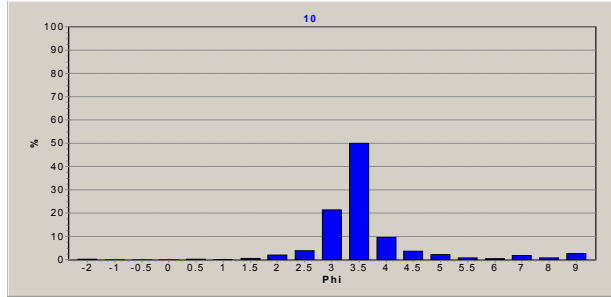
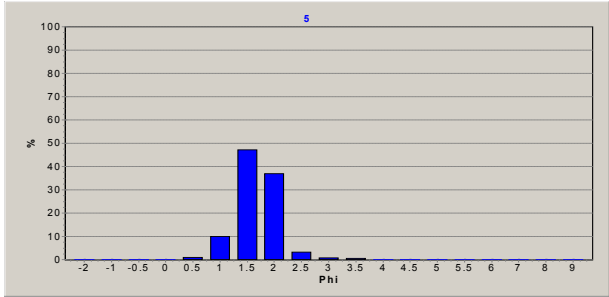
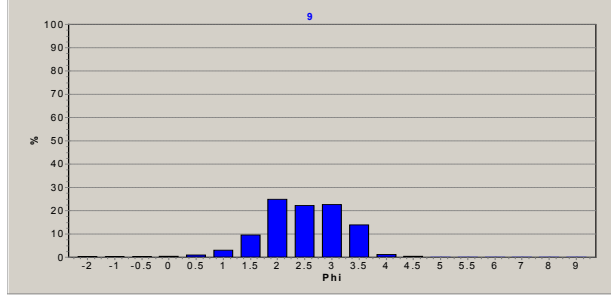
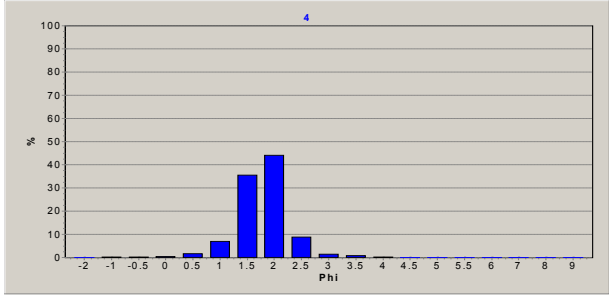
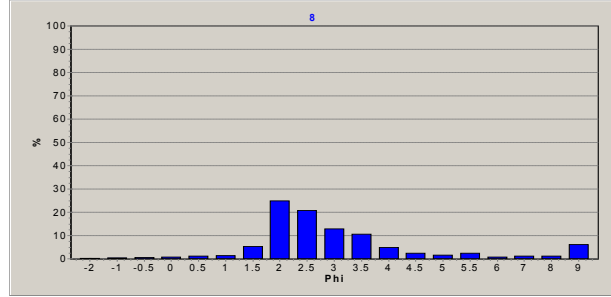
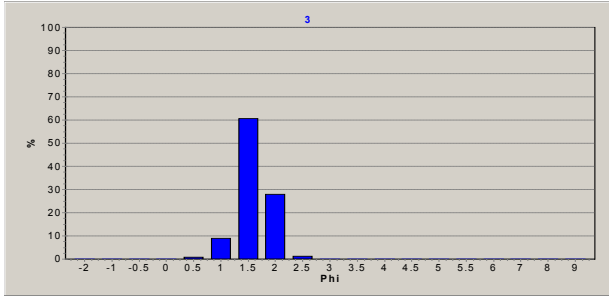
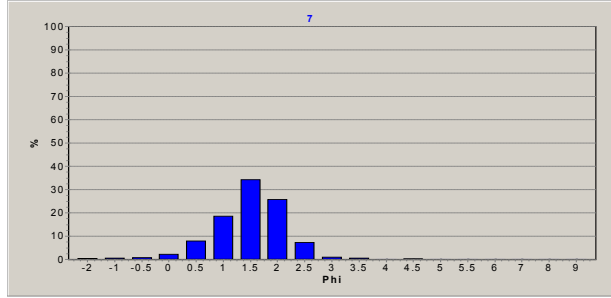
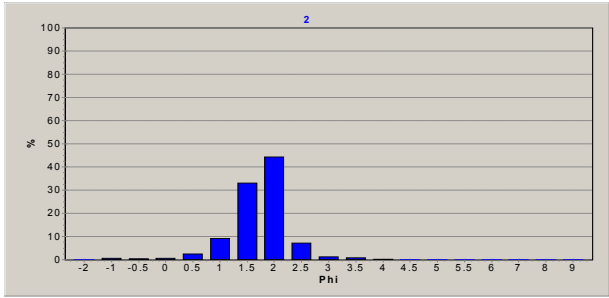
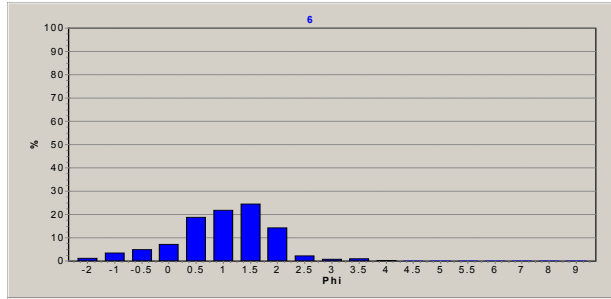
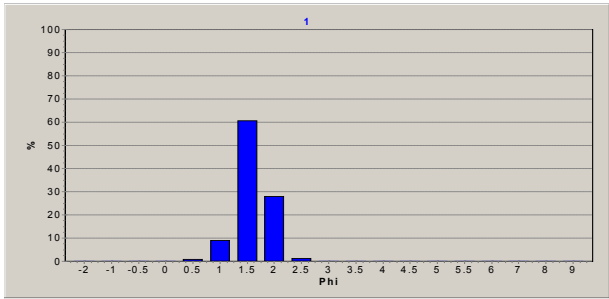
Anexo 3 - Dados das características das amostras de sedimento de fundo do estuário do Rio Jacuípe, com a profundidade de coleta, percentual das frações cascalho, areia, silte e argila (segundo o método de Folk e Ward).

Amostra	Profundidade	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
1	0,0	0,02	99,97	0,01	0,00
2	0,5	0,63	99,30	0,07	0,00
3	1,2	0,02	99,97	0,01	0,00
4	0,5	0,17	99,78	0,05	0,00
5	2,0	0,04	99,94	0,02	0,00
6	2,2	4,55	95,40	0,05	0,00
7	3,7	1,05	98,67	0,28	0,00
8	1,9	0,59	83,27	9,95	6,20
9	2,6	0,36	99,18	0,45	0,00
10	2,5	0,23	87,26	9,83	2,68
11	2,7	1,03	93,04	3,87	2,06
12	3,8	2,65	96,67	0,68	0,00
13	4,0	0,07	91,76	7,51	0,66
14	2,0	5,48	90,61	3,91	0,00
15	4,5	0,34	98,03	1,62	0,00
16	2,7	14,14	82,07	3,79	0,00
17	3,7	0,64	96,41	2,95	0,00
18	4,6	0,26	99,05	0,69	0,00
19	2,5	5,60	94,20	0,20	0,00
20	3,5	5,40	90,23	4,37	0,00
21	2,8	0,19	97,89	1,92	0,00
22	2,0	0,08	95,85	4,07	0,00
23	3,0	0,28	92,78	6,95	0,00
24	3,9	0,19	99,58	0,22	0,00
25	4,0	10,41	86,93	2,66	0,00
26	2,4	0,00	95,37	4,63	0,00
27	1,2	1,13	83,42	10,83	4,62
28	5,0	2,44	69,75	27,81	0,00
29	2,3	1,83	85,33	7,52	5,32
30	5,3	3,69	93,21	3,10	0,00
31	4,3	10,49	87,37	2,14	0,00
32	4,3	1,12	97,90	0,97	0,00
33	5,4	1,61	90,87	6,78	0,74
34	3,6	1,23	91,71	7,06	0,00
35	3,1	0,35	96,73	2,92	0,00
36	3,5	0,05	99,58	0,37	0,00
37	2,5	1,46	97,80	0,74	0,00
38	2,4	1,89	97,49	0,62	0,00
39	2,7	1,03	98,67	0,30	0,00
40	3,0	0,91	97,31	1,78	0,00
41	3,4	0,14	99,51	0,36	0,00
42	3,8	1,86	97,24	0,90	0,00
43	2,9	1,42	98,47	0,11	0,00
44	3,2	1,64	96,07	2,29	0,00
45	2,3	0,12	98,91	0,98	0,00
46	4,2	0,69	90,17	9,15	0,00
47	5,2	1,48	97,06	1,46	0,00

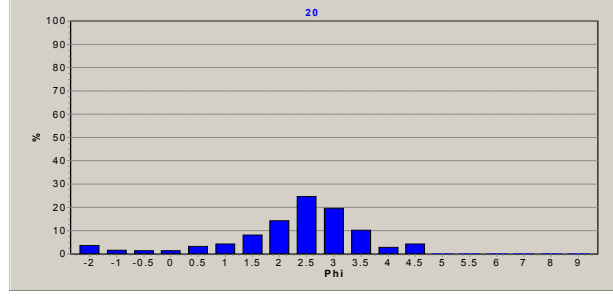
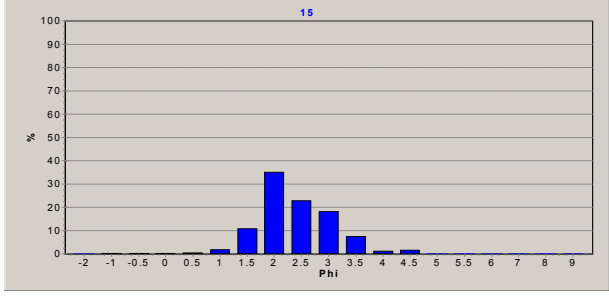
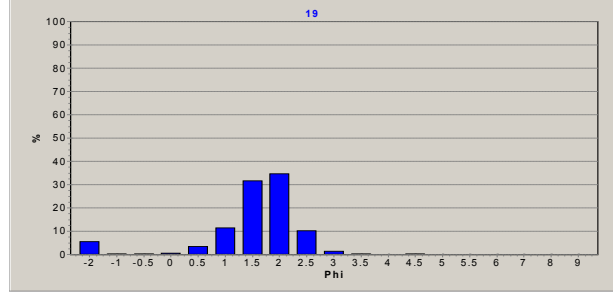
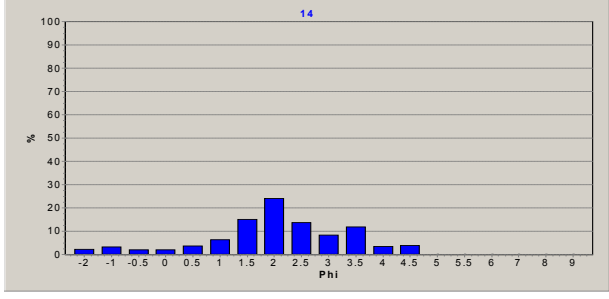
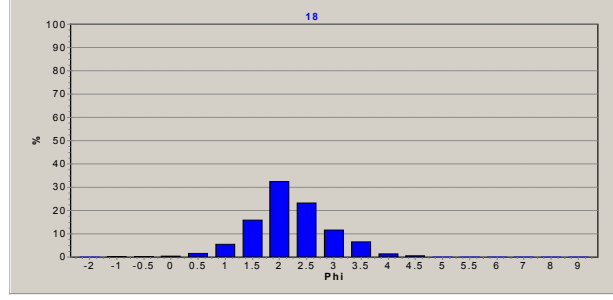
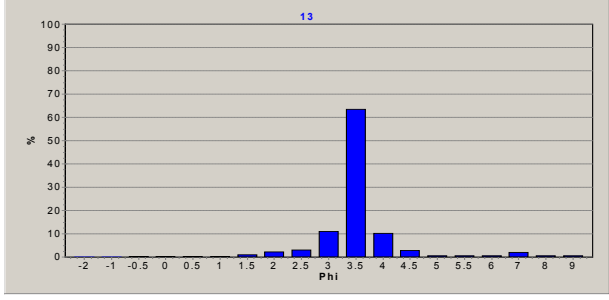
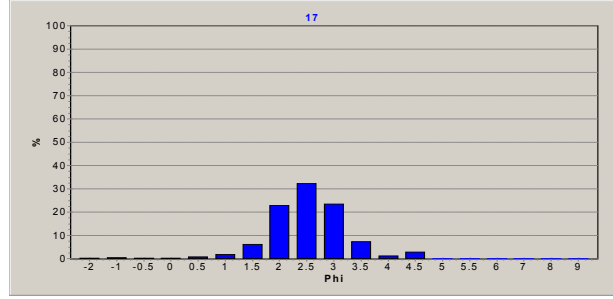
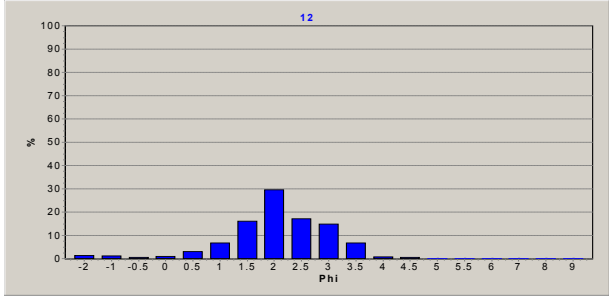
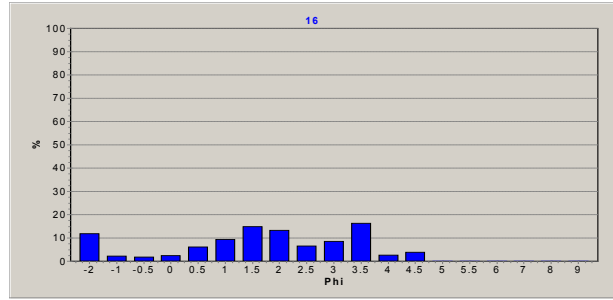
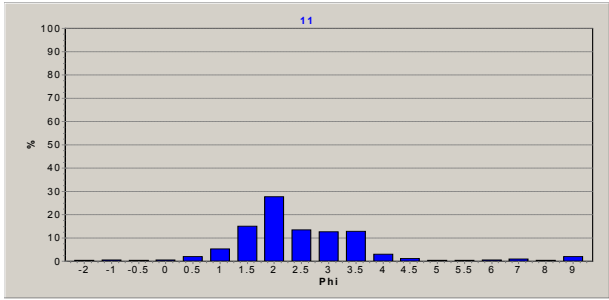
Continuação

Amostra	Profundidade	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
48	2,1	0,07	89,75	6,79	3,39
49	4,8	1,45	93,82	4,73	0,00
50	3,9	2,94	97,06	0,00	0,00
51	3,5	0,00	86,08	13,92	0,00
52	4,2	0,11	92,89	4,88	2,12
54	3,2	0,14	90,68	5,81	3,38
55	3,7	0,25	95,45	4,29	0,00
56	1,4	0,89	98,19	0,92	0,00
57	3,8	4,79	92,36	2,84	0,00
58	2,7	0,01	97,38	2,61	0,00
59	3,8	0,07	99,07	0,86	0,00
60	2,9	1,03	87,22	6,43	5,32
61	4,0	0,27	94,58	5,16	0,00
62	4,4	2,46	90,92	6,62	0,00
63	4,2	4,14	91,60	4,26	0,00
64	3,2	0,35	99,43	0,21	0,00
65	4,7	0,22	99,75	0,03	0,00
66	3,2	0,00	99,75	0,25	0,00
67	2,0	0,58	99,21	0,21	0,00
68	4,3	20,08	75,73	4,19	0,00
69	3,8	0,00	99,74	0,26	0,00
70	3,7	0,41	99,27	0,32	0,00
71	3,3	0,00	99,75	0,25	0,00
72	2,1	0,31	99,65	0,04	0,00
73	2,8	0,00	99,80	0,20	0,00
74	3,5	0,39	96,57	3,04	0,00
75	3,2	0,00	99,76	0,24	0,00

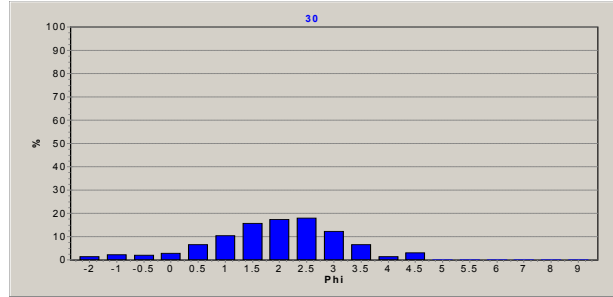
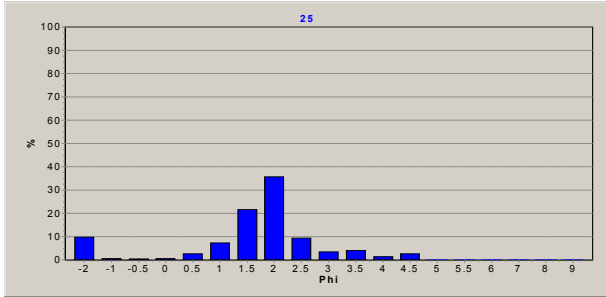
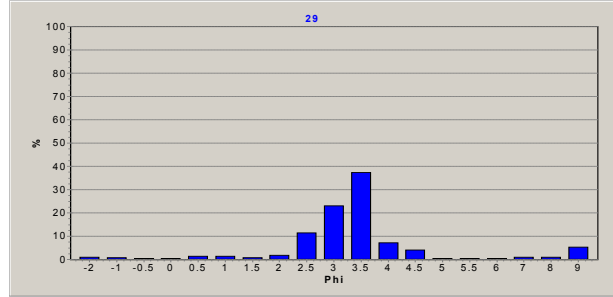
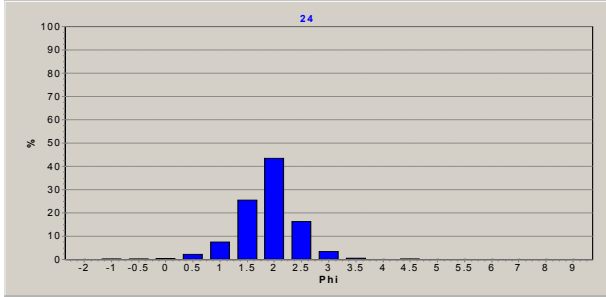
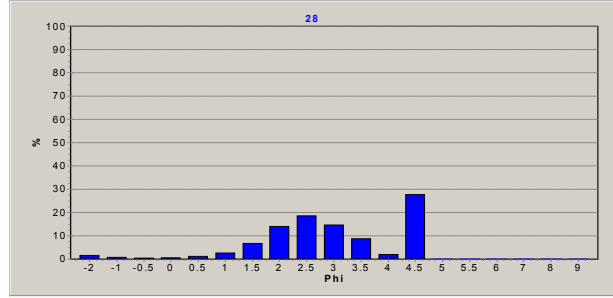
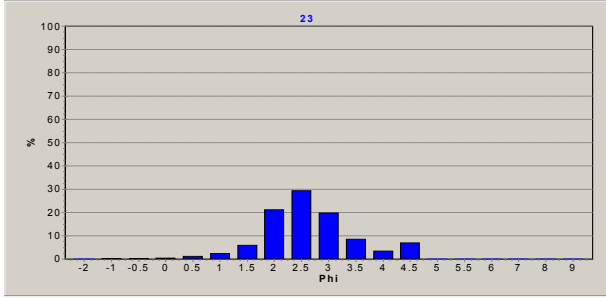
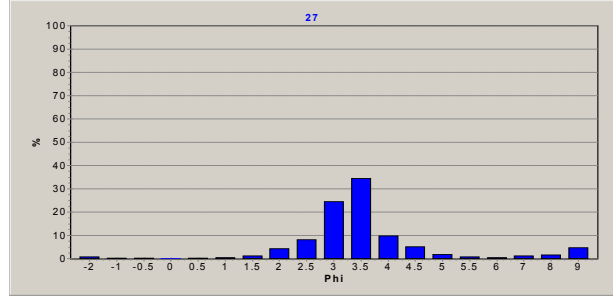
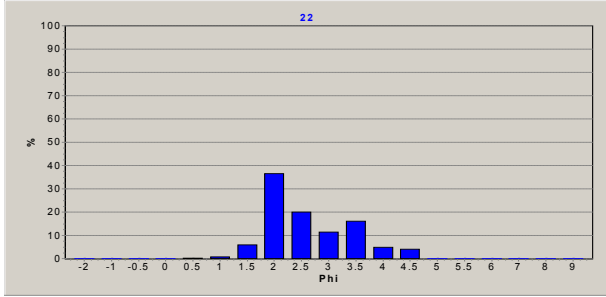
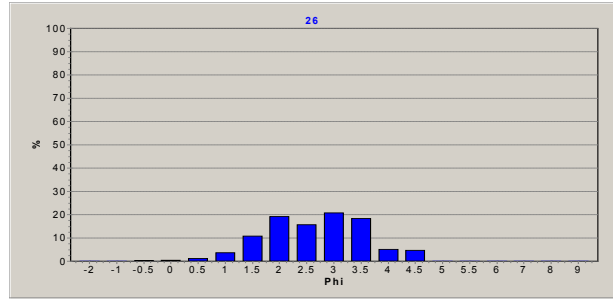
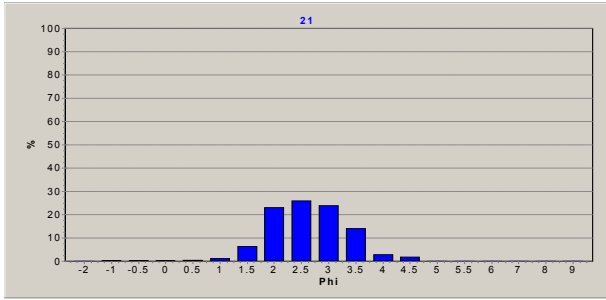
Anexo 4 – Análise granulométrica do sedimento de fundo do estuário do Rio Jacuípe.



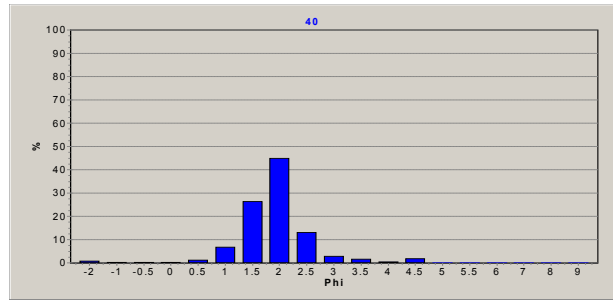
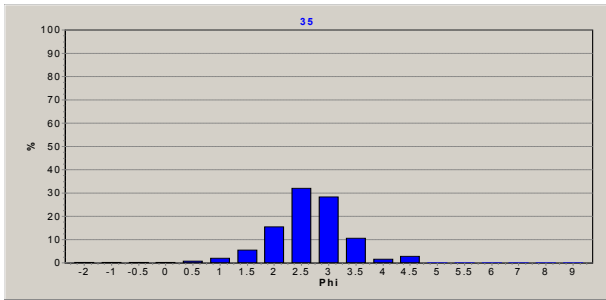
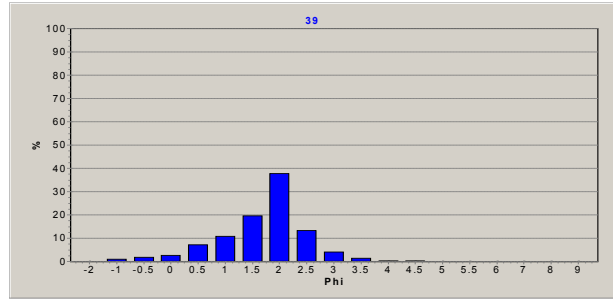
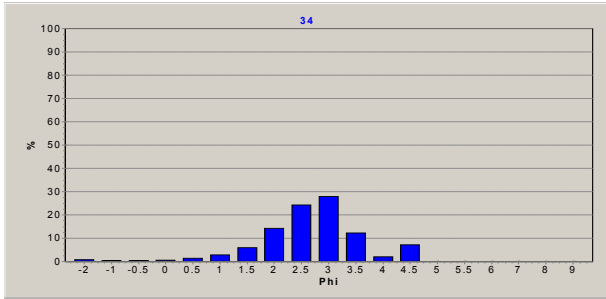
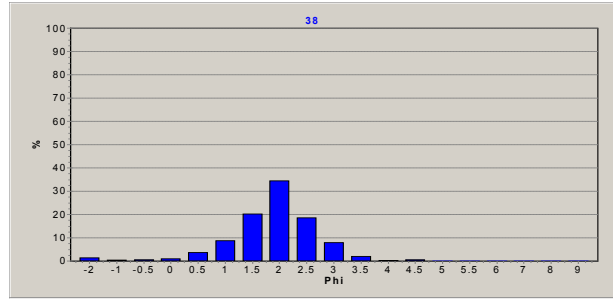
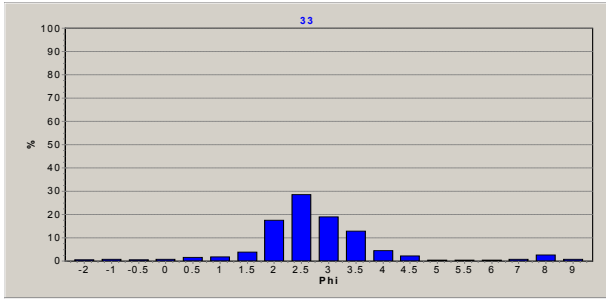
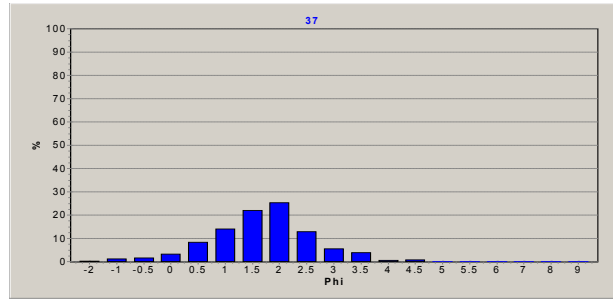
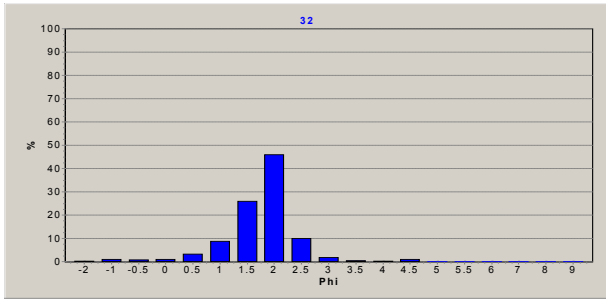
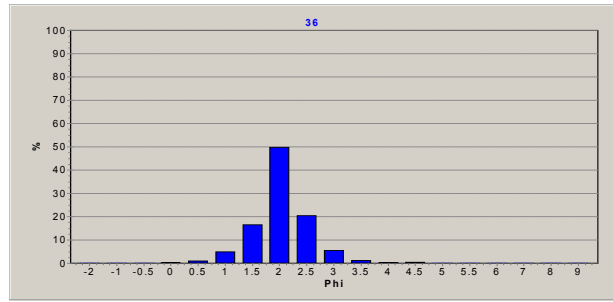
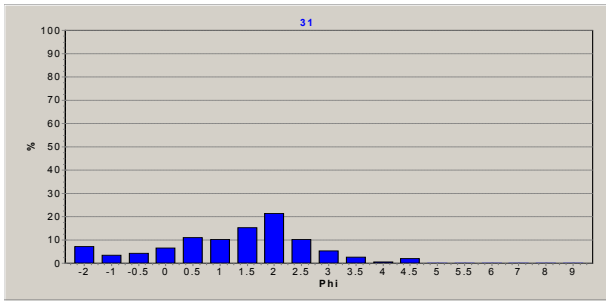
Continuação



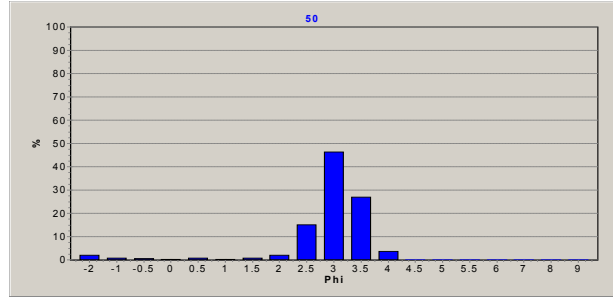
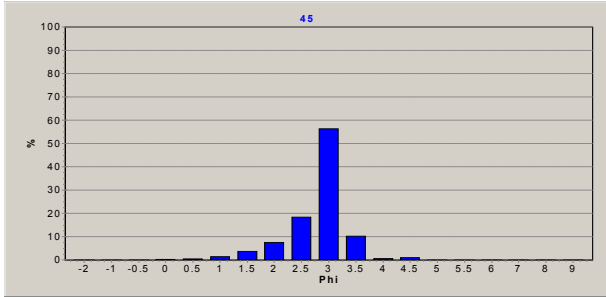
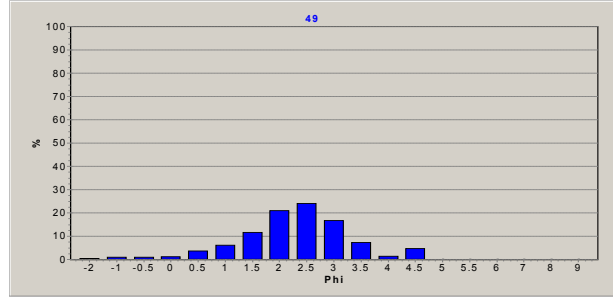
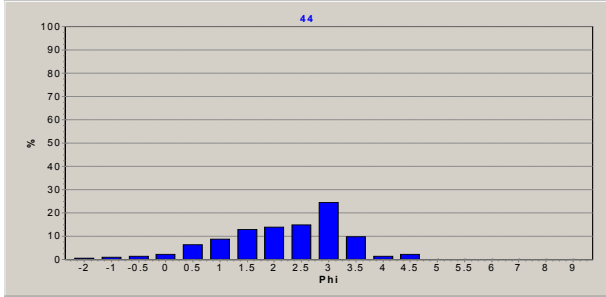
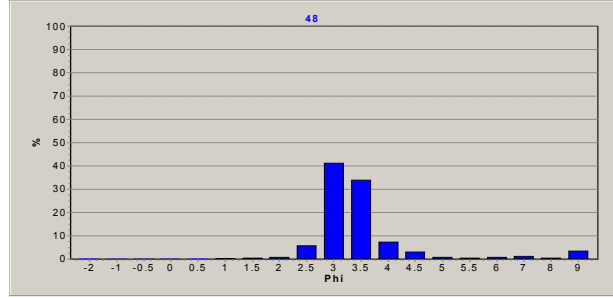
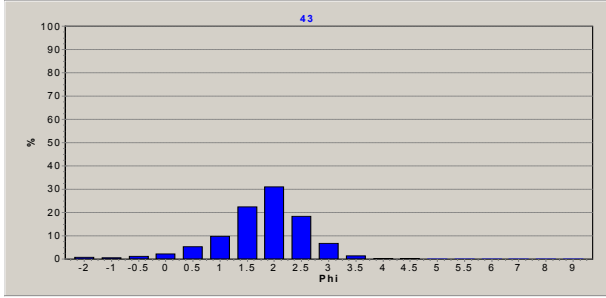
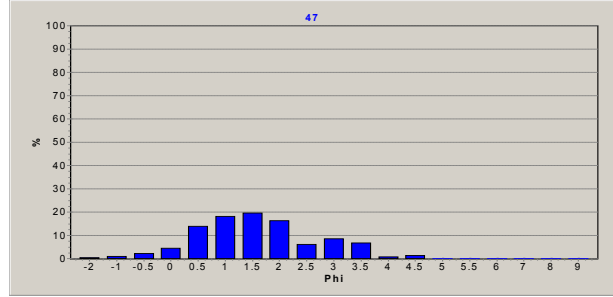
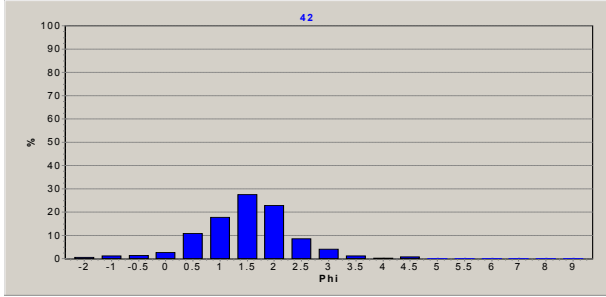
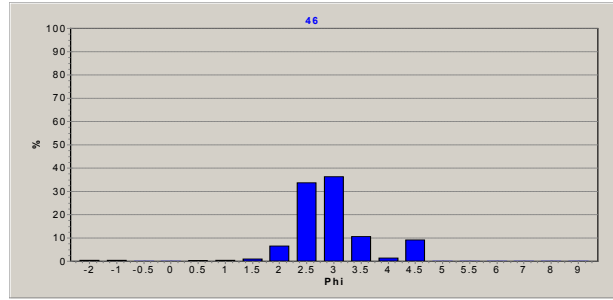
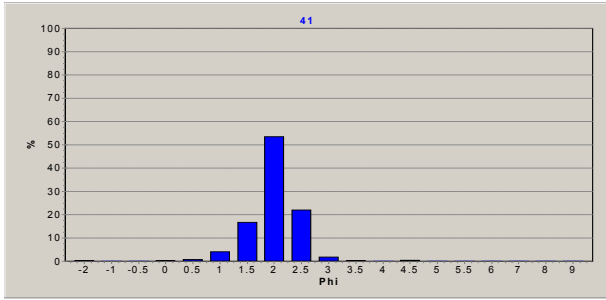
Continuação



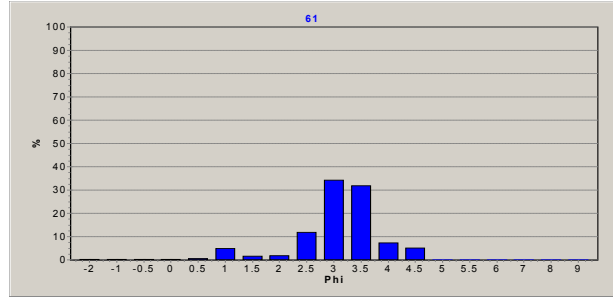
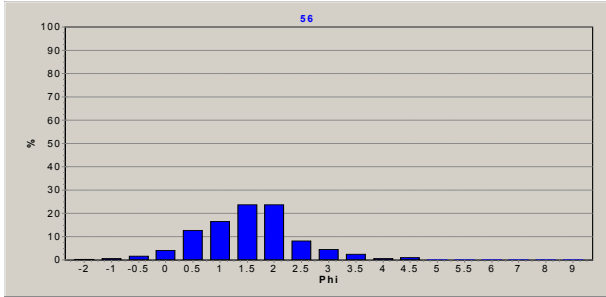
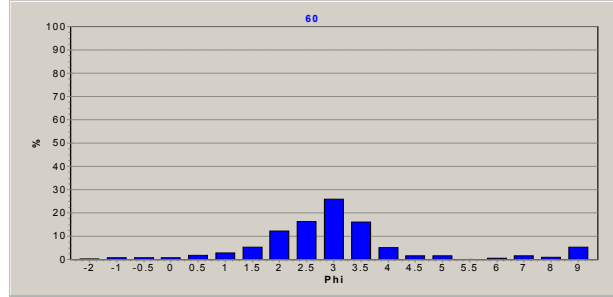
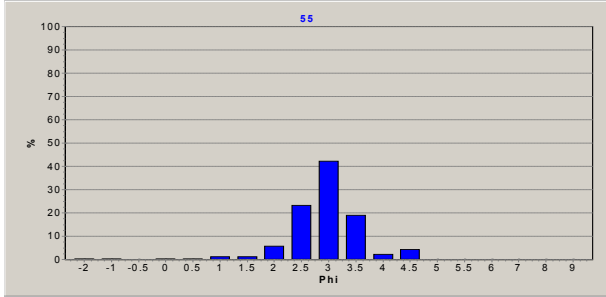
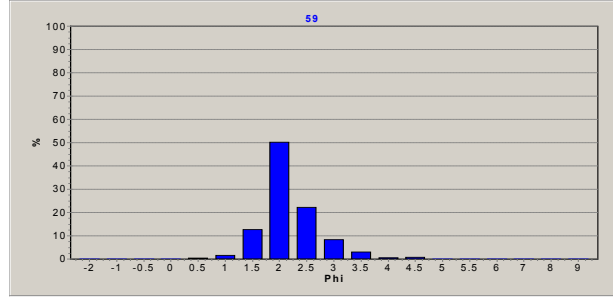
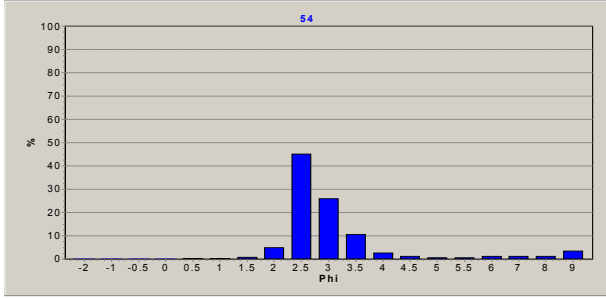
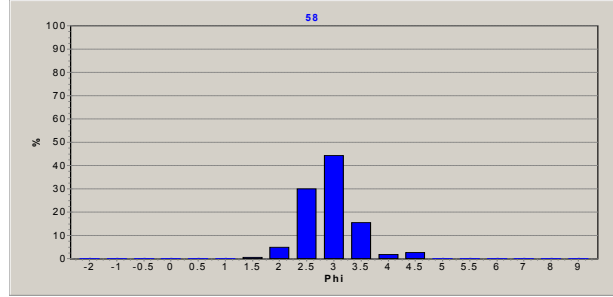
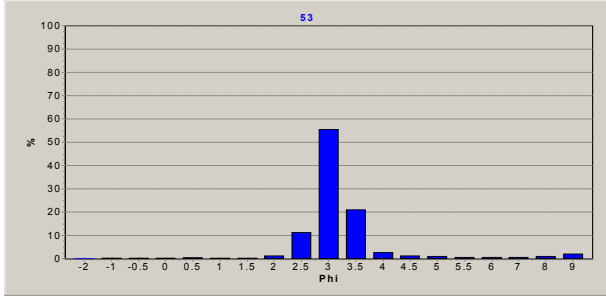
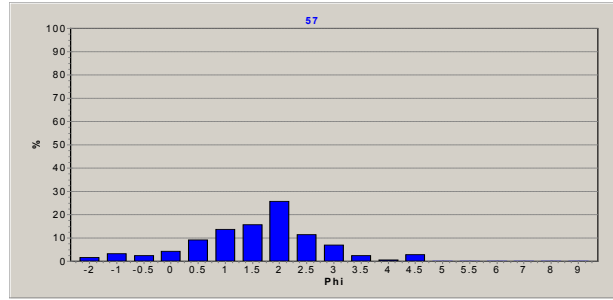
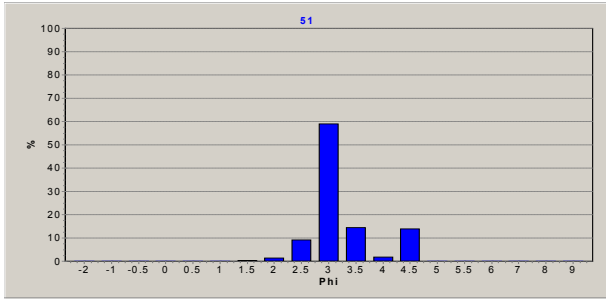
Continuação



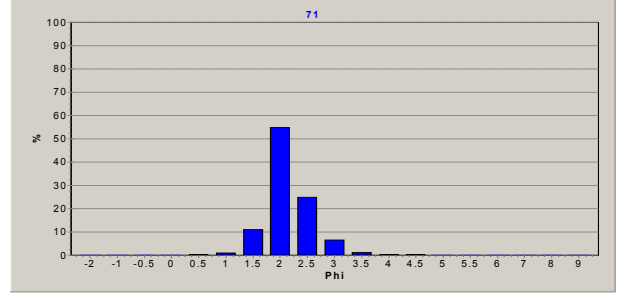
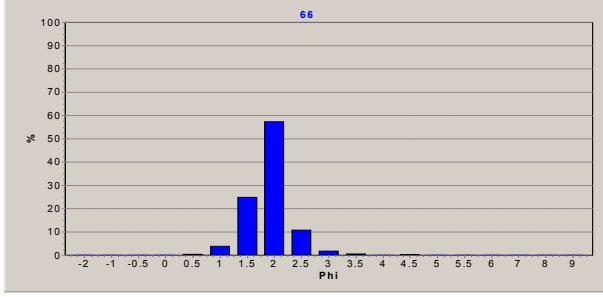
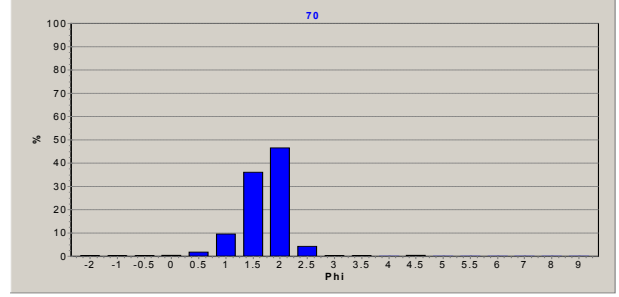
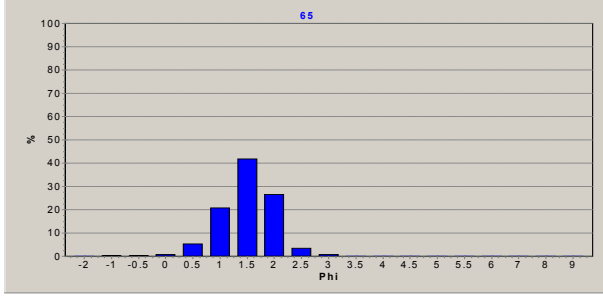
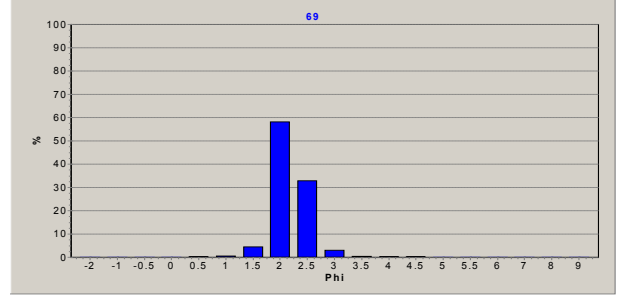
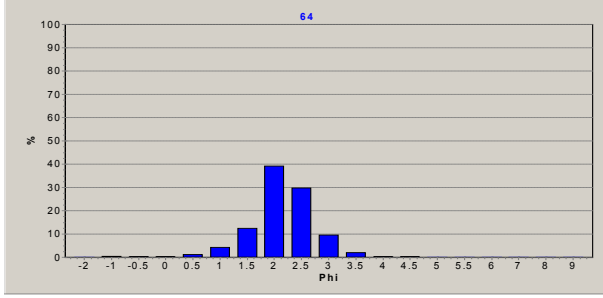
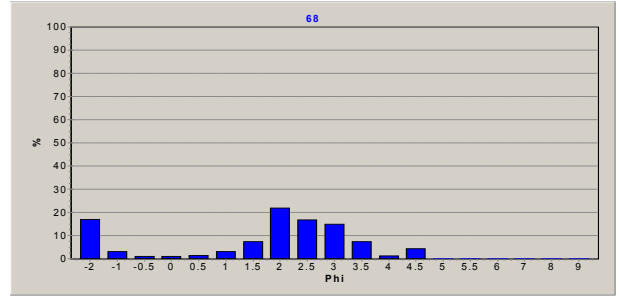
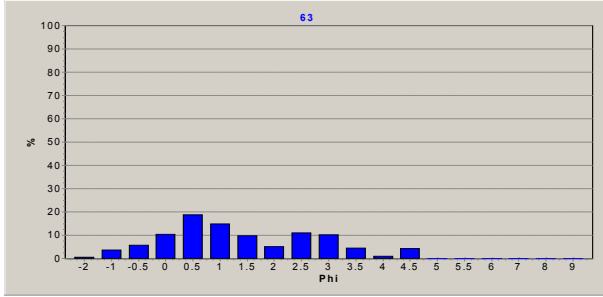
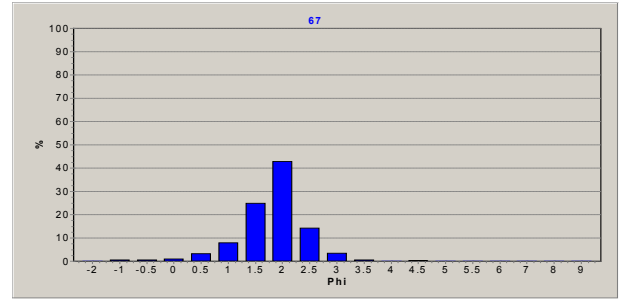
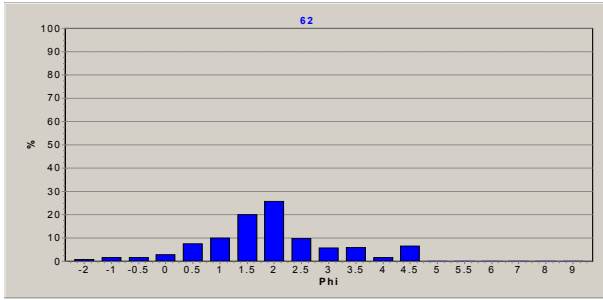
Continuação



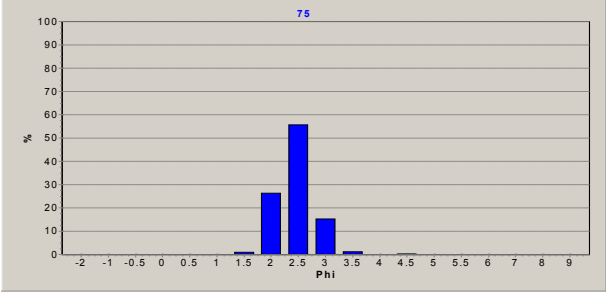
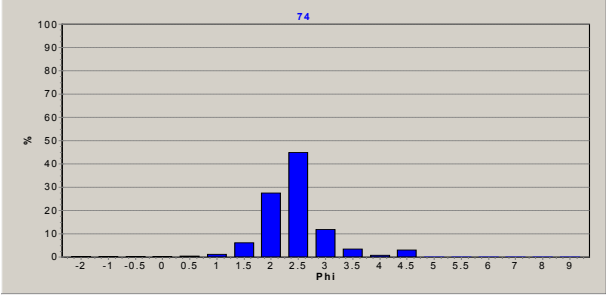
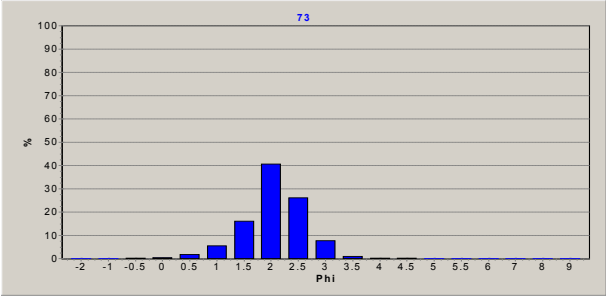
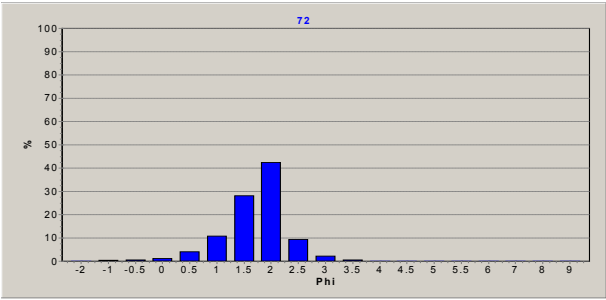
Continuação



Continuação



Continuação



Anexo 5 - Tabela referente aos dados de maré oceânica

Constituintes harmônicos (C.H.) com respectiva amplitude (α) e fase para os dados de maré em Praia do Forte-BA.

Constituinte Harmônico	A (cm)	Fase ($^{\circ}$)
Q ₁	1.6	119
O ₁	6.9	118
M ₁	0.7	259
P ₁	1.2	199
K ₁	3.7	199
MU ₂	3.3	71
N ₂	13.5	98
NU ₂	2.6	98
M ₂	67	101
L ₂	1.7	34
T ₂	1.5	114
S ₂	26.1	114
K ₂	7.1	114
M ₃	1.1	85
M ₄	2.5	142
Total	141	

Anexo 6 - Constituintes harmônicos, amplitude e fase para os dados de maré do estuário do Rio Jacuípe.

Constituintes Harmônicos	Amplitude (cm)	Fase (°)
<i>Q</i> ₁	0.95	105.74
<i>O</i> ₁	3.05	154.46
<i>K</i> ₁	2.24	242.27
<i>P</i> ₁	0.74	235.68
<i>MU</i> ₂	4.35	272.09
<i>N</i> ₂	5.91	143.52
<i>M</i> ₂	42.95	138.96
<i>L</i> ₂	2.51	125.27
<i>S</i> ₂	12.5	170.61
<i>2N</i> ₂	0.79	148.07
<i>NU</i> ₂	1.12	143.04
<i>T</i> ₂	0.74	171.87
<i>K</i> ₂	3.4	173.17
<i>MO</i> ₃	0.77	185.53
<i>M</i> ₃	0.34	136.59
<i>MK</i> ₃	0.52	270.09
<i>SK</i> ₃	0.49	291.21
<i>N</i> ₄	0.92	99.73
<i>MN</i> ₄	1.91	167.09
<i>M</i> ₄	5.48	169.71
<i>MS</i> ₄	3.92	195.02
<i>2MO</i> ₅	0.26	187.38
<i>2MK</i> ₅	0.22	252.3
<i>MSK</i> ₅	0.24	303.36
<i>4MS</i> ₆	0.46	257.76
<i>2MN</i> ₆	0.49	111.25
<i>M</i> ₆	1.2	142.2
<i>2MS</i> ₆	1.15	162.36
<i>3MO</i> ₇	0.15	196.56
<i>3MK</i> ₇	0.18	272.44
<i>2MSK</i> ₇	0.2	319.62
<i>3MN</i> ₈	0.47	171.71
<i>M</i> ₈	0.74	177.6
<i>2MSN</i> ₈	0.37	192.49
<i>3MS</i> ₈	1.04	201.46
<i>2M₂S</i> ₈	0.5	233.78
Total	103.27	

Anexo 7 – Resumo dos dados médios obtidos com os monitoramentos temporais do fluxo.

Identificação	Data do monitoramento	27/04	19/05	28/05	16/06	07/07	09/07	12/07	31/07
	Período da maré/ fase da lua	Sizígia	Quadratura	Sizígia	Quadratura	Intermediária	Sizígia	Sizígia	Quadratura
	Data do pico da maré	26/04	19/05	26/05	17/06	-	10/07	10/07	01/08
Vazão	Q_f ($m^3 s^{-1}$) 12 horas antes	0.0	0.0	-	70.0	8.0	0.0	0.0	47.0
	Q_f ($m^3 s^{-1}$) 24 horas antes	5.0	0.0	-	70.0	0.0	0.0	24.0	18.0
Maré	Elevação (m) Preamar / Baixamar	-	1.34 0.41	1.77 0.75	1.55 0.71	1.44 0.48	1.54 0.43	1.67 0.47	1.56 0.80
	H_o prevista (m)	1.28	0.77	1.13	1.01	0.88	1.02	1.16	0.86
	H_o observada (m)	-	0.92	1.02	0.84	0.96	1.11	1.20	0.76
	T subida (h)	5:00	5:50	5:00	5:30	5:00	5:00	5:00	5:40
	T descida (h)	7:20	7:00	7:20	6:40	7:00	7:20	7:20	6:30
	Corrente	\bar{v} enchente (m/s)	-0.40	-0.15	-0.20	-0.11	-0.22	-0.31	-0.22
\bar{v} vazante (m/s)		0.37	0.16	0.50	0.39	0.19	0.31	0.31	-
Salinidade	\bar{S} coluna d'água	23.5	6.62	1.38	0.10	5.03	6.93	5.41	0.20
Turbidez	Turbidez máxima (NTU)	42.4	16.7	45.2	-	28.6	-	42.6	48.2

Q_f = vazão fluvial, H_o = altura da maré, T = tempo de enchente e vazante da maré, \bar{v} = velocidade média da coluna, \bar{S} = salinidade média da coluna d'água.

Anexo 8 – Resumo dos dados extremos obtidos com os monitoramentos temporais do fluxo.

Data do monitoramento	27/04	19/05	28/05	16/06	07/07	09/07	12/07	31/07
Período da maré/ fase da lua	Sizígia	Quadratura	Sizígia	Quadratura	Intermediária	Sizígia	Sizígia	Quadratura
v máxima enchente superfície (m/s)	-0.48	-0.28	-0.45	-0.22	-0.39	-0.40	-0.41	-
v máxima enchente meio (m/s)	-0.70	-0.30	-0.48	-0.21	-0.29	-0.45	-0.48	-
v máxima enchente fundo (m/s)	-0.69	-0.21	-0.40	-0.17	-0.19	-0.38	-0.45	-
v máxima vazante superfície (m/s)	0.65	0.40	0.98	0.57	0.55	0.71	0.72	-
v máxima vazante meio (m/s)	0.70	0.39	0.75	0.59	0.39	0.57	0.66	-
v máxima vazante fundo (m/s)	0.36	-----	0.65	0.55	0.10	0.17	0.18	-
S máxima enchente superfície	33.62	9.23	0.6	0.0	6.95	15.2	13.25	0.62
S máxima enchente fundo	33.88	15.63	21.4	0.0	22.9	28.01	30.53	2.2
S mínima vazante superfície	8.60	1.23	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
S mínima vazante fundo	13.97	2.28	0.0	0.0	3.63	1.36	0.0	0.0