



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**DINÂMICA DOS PARÂMETROS ABIÓTICOS NA ZONA DE
MISTURA DO ESTUÁRIO DO RIO PARACAUARI, ILHA DO
MARAJÓ-PA**

Dissertação apresentada por:

SURY DE MOURA MONTEIRO

**BELÉM
2009**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

- M775d Monteiro, Sury de Moura
Dinâmica dos parâmetros abióticos na zona de mistura do estuário do rio Paracauari, ilha do Marajó-Pa / Sury de Moura Monteiro – 2009
xv, 137 f.: il.
Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.
Orientador; Maâmar El-Robrini.
1. Estuário – Rio Paracauari. 2. Nutrientes. 3. Meso e macro-maré. 4. Variação sazonal. 5. Zona de mistura. 6. Marajó, Ilha de (PA). I. Universidade Federal do Pará. II. El-Robrini, Maâmar, Orient. III. Título.
- CDD 20. ed.: 551.4609098115
-



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

DINÂMICA DOS PARÂMETROS ABIÓTICOS NA ZONA DE
MISTURA DO ESTUÁRIO DO RIO PARACAUARI, ILHA DO
MARAJÓ-PA

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

SURY DE MOURA MONTEIRO

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de GEOLOGIA.

Data de Aprovação: **09/09/2009**

Comitê de Dissertação:

DR. MAÂMAR EL-ROBRINI (UFPA)
(Orientador)

DR^a ELISABETE DE SANTIS BRAGA (USP)
(Membro)

DR. MARCELO CANCELA LISBOA COHEN (UFPA)
(Membro)

Belém

Aos meus pais e irmão

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo Seu infinito amor. A Ele toda honra e toda glória.

Aos meus pais, Angela Lúcia e José Augusto Monteiro, e ao meu irmão Gustavo, que de forma especial e carinhosa, me apoiaram em todos os momentos.

Meus agradecimentos especiais:

Ao Prof. Maâmar El-Robrini pelo total auxílio e constante incentivo, sempre indicando a direção a ser tomada durante a elaboração deste trabalho.

Aos colegas do Grupo de Estudos Marinhos e Costeiro (GEMC) que se tornaram bons amigos e proporcionaram momentos memoráveis que eu lembrarei com carinho para sempre.

Aos estudantes de Oceanografia: Antonio Neto, Isaac Salem, Márcio Porfírio, Yuri Friaes, Cristiane Bezerra pela incansável ajuda nos trabalhos de campo e de laboratório.

Ao oceanógrafo Igor Charles, pela total ajuda nas análises laboratoriais.

Ao Herculano Marçal por toda atenção, carinho e companheirismo durante todas as etapas desse trabalho, incluindo as viagens de campo, as análises laboratoriais e a escrita do manuscrito.

A Cínara por sempre me receber com uma palavra edificante, mostrando-se sempre disposta a ajudar.

Aos meus familiares e a todos que, de uma forma ou de outra, colaboraram direta ou indiretamente para a concretização deste trabalho.

Para vocês, ofereço esta página...

Muito obrigada a todos!

“Sempre partimos do ponto onde
alguém conseguiu chegar numa
sequência infinita dessa
caminhada.”
Alberi Espindula

SUMÁRIO

	p.
DEDICATÓRIA.....	iv
AGRADECIMENTOS	v
EPÍGRAFE.....	vi
LISTAS DE ILUSTRAÇÕES.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xv
RESUMO.....	1
ABSTRACT	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
1 INTRODUÇÃO	5
2 OBJETIVO	8
2.1 GERAL.....	8
2.2 ESPECÍFICOS.....	8
3 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO.....	9
3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	9
3.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS	11
3.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	12
3.4 SOLOS	14
3.5 VEGETAÇÃO.....	17
3.6 ASPECTOS CLIMÁTICOS E CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS	17
3.6.1 Clima	17
3.6.2 Parâmetro aerodinâmico	19
3.7 HIDROLOGIA	19
3.7.1 Rio Amazonas	20
3.7.2 Rio Tocantins	20
3.7.3 Rio Pará e Baía do Marajó	20
3.7.4 Hidrografia do arquipélago do Marajó	22
3.7.4.1 Rio Paracauari.....	24
3.8 CONDIÇÕES OCEANOGRÁFICAS.....	25
3.8.1 Marés e correntes associadas	25
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27

4.1 ESTUÁRIOS	27
4.1.1 Classificação	28
4.1.1.1 Classificação segundo a geomorfologia	28
4.1.1.2 Classificação segundo a estratificação salina	31
4.1.2 Características gerais dos estuários	33
4.2 PARÂMETROS ABIÓTICOS DA ÁGUA ESTUARINA: DESCRIÇÃO E IMPORTÂNCIA.....	34
4.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS DA BACIA AMAZÔNICA	41
5 MATERIAIS E MÉTODOS	43
5.1 AMOSTRAGEM DE ÁGUA	43
5.2 VARIÁVEIS HIDROQUÍMICAS DETERMINADAS EM LABORATÓRIO	47
5.2.1 Oxigênio dissolvido	47
5.2.2 Material particulado em suspensão	48
5.2.3 Análises dos nutrientes dissolvidos inorgânicos	49
5.2.3.1 Nitrato Dissolvido.....	49
5.2.3.2 Nitrito	50
5.2.3.3 N-amoniaco.....	50
5.2.3.4 Fosfato (orto) dissolvido	51
5.2.3.5 Silício reativo dissolvido.....	52
5.3 TRATAMENTO ESTATÍSTICO	52
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
6.1 VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS AO LONGO DO ESTUÁRIO DO RIO PARACAUARI	57
6.1.1 Temperatura da água	57
6.1.2 pH	59
6.1.3 Condutividade elétrica, salinidade e sólidos totais dissolvidos	62
6.1.4 Transparência e material em suspensão	69
6.1.5 Oxigênio dissolvido	74
6.1.6 Nutrientes	77
6.1.6.1 Compostos nitrogenados.....	78
6.1.6.1.1 <i>Nitrito (N-NO₂⁻)</i>	78

6.1.6.1.2 <i>Nitrato (N-NO₃⁻)</i>	80
6.1.6.1.3 <i>N-amoniaca</i>	82
6.1.6.2 <i>Fosfato</i>	84
6.1.7.3 <i>Silicato Si(OH)₄</i>	86
6.2 VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS NA ESTAÇÃO FIXA NA FOZ DO ESTUÁRIO DO RIO PARACAUARI	88
6.2.1 Temperatura da água e pH	88
6.2.2 Condutividade elétrica, salinidade e sólidos totais dissolvidos	91
6.2.3 Transparência e material em suspensão	95
6.2.4 Oxigênio dissolvido	97
6.2.5 Nutrientes	100
6.3 CORRELAÇÕES ENTRE PARÂMETROS.....	106
6.4 DISCUSSÃO FINAL	114
7 CONCLUSÃO	118
REFERÊNCIAS	121
ANEXO	135
ANEXO A:.....	136
ANEXO B: MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR	137

LISTRA DE ILUSTRAÇÕES

Figuras

	p.
Figura 1: Localização da área de estudo. (1) Ilha do Marajó; (2) Trecho da baía de Marajó, incluindo a Ilha do Marajó; (3) Porção leste da Ilha do Marajó – Rio Paracauari (imagem Landsat ETM+, composição 5R4G3B)	10
Figura 2: Configuração tectônica simplificada do norte do Brasil com a localização do Rift Marajó	11
Figura 3: Mapa da vegetação da parte leste da Ilha do Marajó, próximo ao rio Paracauari	16
Figura 4: Mapa hidrográfico mostrando os rios Pará, Tocantins, Amazonas e baía do Marajó.....	21
Figura 5: Rede de drenagem da Ilha do Marajó	23
Figura 6: Representação esquemática dos principais tipos de estuários (inlets) (adaptado de Fairbridge, 1980. in: Miranda; Castro, 2002).	29
Figura 7: Representação esquemática dos tipos de estuário de acordo com o grau de estratificação salina (Adaptado de OZCOASTS, 2008, In: http://www.ozcoasts.org.au)	33
Figura 8: Salinidade típica de rios, estuários e águas costeiras	37
Figura 9: Pontos de amostragem no estuário do rio Paracauari.....	44
Figura 10: a) Disco de Secchi; b) Garrafa de Van Dorn para coleta de água superficial; c) Garrafa de Van Dorn para coleta de água de fundo.....	46
Figura 11: Estratégias de amostragem e métodos analíticos adotados (consultar texto para abreviaturas).....	54
Figura 12: Curva da maré durante o período de amostragem no estuário do rio Paracauari	55
Figura 13: Precipitação pluviométrica para os meses de coleta, com a média histórica mensal da precipitação pluviométrica (mm) obtida pela estação meteorológica de Soure – PA (adaptado de INMET, 2008. In: www.inmet.gov.br).....	56
Figura 14: Variação espacial e temporal da temperatura na coluna d'água (superfície e fundo) do estuário do rio Paracauari no período chuvoso, intermediário e menos chuvoso	58

Figura 15: Variação espacial e temporal do pH na coluna d'água do estuário do rio Paracauari no período chuvoso, intermediário e menos chuvoso	60
Figura 16: Variação sazonal e longitudinal do pH no estuário do rio Paracauari: a) Período chuvoso; b) Período intermediário; c) Período menos chuvoso	61
Figura 17: Variação espacial e temporal de CE, salinidade e TDS na coluna d'água do estuário do rio Paracauari no período chuvoso, intermediário e menos chuvoso.....	63
Figura 18: Variação longitudinal durante o período chuvoso de: a) salinidade, b) CE e c) TDS	64
Figura 19: Variação longitudinal durante os respectivos períodos intermediário e menos chuvoso de: a, b) CE; c, d) salinidade; e, f) TDS	66
Figura 20: Variação sazonal na foz e a montante do estuário do rio Paracauari: a) salinidade, b) CE e c) TDS	67
Figura 21: Variação longitudinal de salinidade durante o período menos chuvoso	69
Figura 22: Variação da a) transparência da água e b) material em suspensão durante amostragem ao longo do rio Paracauari nos três períodos: chuvoso, intermediário e menos chuvoso	70
Figura 23: Variação sazonal e longitudinal da transparência da água e do material em suspensão no estuário do rio Paracauari: a, b) Período chuvoso; c, d) Período intermediário; e, f) Período menos chuvoso	72
Figura 24: Comparativo da transparência da água durante o período chuvoso e menos chuvoso, respectivamente: a, b) na foz; c, d) a montante	73
Figura 25: Variação espacial e temporal de oxigênio dissolvido na coluna d'água do estuário do rio Paracauari nos três períodos: chuvoso, intermediário e menos chuvoso	75
Figura 26: Variação sazonal e longitudinal das concentrações de OD no estuário do rio Paracauari: a) Período chuvoso; b) Período intermediário; c) Período menos chuvoso	76
Figura 27: Variação sazonal e longitudinal das concentrações de nitrito no estuário do rio Paracauari: a) Período chuvoso; b) Período intermediário; c) Período menos chuvoso	79
Figura 28: Variação sazonal e longitudinal das concentrações de nitrato no estuário do rio Paracauari: a) Período chuvoso; b) Período intermediário; c) Período menos chuvoso	81

Figura 29: Variação sazonal e longitudinal das concentrações de N-amoniacal no estuário do rio Paracauari: a) Período chuvoso; b) Período intermediário; c) Período menos chuvoso	83
Figura 30: Variação sazonal e longitudinal das concentrações de fosfato no estuário do rio Paracauari: a) Período chuvoso; b) Período intermediário; c) Período menos chuvoso	85
Figura 31: Variação sazonal e longitudinal das concentrações de silicato no estuário do rio Paracauari: a) Período chuvoso; b) Período intermediário; c) Período menos chuvoso	87
Figura 32: Variação de temperatura na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari durante os períodos chuvoso, intermediário e menos chuvoso.....	89
Figura 33: Variação de pH na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari durante os períodos chuvoso, intermediário e menos chuvoso.....	90
Figura 34: Variação diária de pH na estação fixa no rio Paracauari durante: a) período chuvoso, b) período intermediário e c) período menos chuvoso.	91
Figura 35: Variação de CE, salinidade e TDS na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari	92
Figura 36: Variação diária de CE, TDS e salinidade na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari: a,b) período chuvoso, c,d) período intermediário e e,f) período menos chuvoso	94
Figura 37: a) Variação diária de transparência; Variação diária de material em suspensão na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari: b) período chuvoso, c) período intermediário e d) período menos chuvoso.....	97
Figura 38: Variação de oxigênio dissolvido na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari no período chuvoso, intermediário e menos chuvoso	98
Figura 39: Variação diária de oxigênio dissolvido na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari: a) período chuvoso; b) período intermediário; c) período menos chuvoso	100
Figura 40: Variação diária de nitrato na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari: a) período chuvoso; b) período intermediário; c) período menos chuvoso	102
Figura 41: Variação diária de nitrito e N-amoniacal na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari: a) período chuvoso; b) período intermediário (N-amoniacal não analisada); c) período menos chuvoso	103

Figura 42: Variação diária de fosfato na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari: a) período chuvoso; b) período intermediário; c) período menos chuvoso	104
Figura 43: Variação diária de silicato na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari: a) período chuvoso; b) período intermediário; c) período menos chuvoso	105
Figura 44: Análise de agrupamentos salientando a formação de dois grandes grupos: Grupo 1 (período chuvoso) – círculo pontilhado verde; Grupo 2 (período intermediário e menos chuvoso) – círculo pontilhado azul	107
Figura 45: Correlação: a) positiva nitrito – salinidade; b) N-amoniacoal – salinidade; c) correlação negativa nitrito – pH; d) N-amoniacoal – pH; e) pH – salinidade durante o período chuvoso	109
Figura 46: a) Correlação negativa silicato – salinidade; b) correlação positiva silicato – material particulado em suspensão durante o período intermediário e menos chuvoso	110
Figura 47: Representação gráfica tipo Box Whisker para salientar a distribuição diferenciada dos parâmetros: T, pH, transparência da água, MPS, Sal. e CE medidos entre as campanhas	112
Figura 48: Representação gráfica tipo Box Whisker para salientar a distribuição diferenciada dos parâmetros: TDS, OD, NO_3^- , NO_2^- , NH_3^+ , PO_4^{3-} , Si(OH)_4 medidos entre as campanhas	113
Figura 49: Modelo estuarino proposto por Kjerve (1987), adaptado de Miranda e Castro (2002)	116
Figura 50: Variação nas zonas estuarinas do rio Paracauari: a) Período chuvoso, b) Período intermediário, c) Período menos chuvoso	117

Tabelas

Tabela 1: Classificação adotada para a hidrografia da ilha do Marajó	p. 22
Tabela 2: Valores mínimos, máximos, médios e medianos dos parâmetros estudados no estuário do rio Paracauari, com n=10 para cada campanha.	136
Tabela 3: Matriz de correlação linear dos parâmetros analisados durante o período chuvoso	137
Tabela 4: Matriz de correlação linear dos parâmetros analisados durante o período intermediário e menos chuvoso.....	137

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA = Agência Nacional de Águas
BM= Baixamar
CE = Condutividade elétrica
CONAMA = Conselho Nacional do Meio Ambiente
DHN = Diretoria de Hidrografia e Navegação
IBAMA = Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
IDESP = Instituto do Desenvolvimento Econômico-Social
INMET = Instituto Nacional de Meteorologia
MPS = Material particulado em suspensão
 NO_2^- = Nitrito
 NO_3^- = Nitrato
OD = Oxigênio dissolvido
PM= Preamar
 PO_4^{2-} = Fosfato
Sal. = Salinidade
 Si(OH)_4 = Silicato
T = Temperatura
TDS = Sólidos totais dissolvidos
ZC = Zona costeira
ZM = Zona de mistura
ZR = Zona de maré de rio

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar a dinâmica sazonal (2008) e longitudinal dos parâmetros abióticos na coluna d'água da Zona de Mistura do estuário do rio Paracauari (Ilha do Marajó-PA). Esse estuário situa-se na porção leste da ilha do Marajó – PA, e é influenciado por um clima tropical úmido, com temperatura média anual de 27°C, pluviosidade média de 2.566 mm/ano e dois períodos sazonais distintos (chuvoso que ocorre de dezembro a maio e menos chuvoso de julho a novembro); e apresenta um regime de meso a macromarés (3 a 5m), semi-diurna. Foram realizadas três campanhas adotando uma malha de 15 estações distribuídas ao longo deste estuário, e uma estação fixa na foz durante meio ciclo de maré. As campanhas foram realizadas nos períodos: chuvoso (março), intermediário (junho) e menos chuvoso (setembro). Realizou-se medições *in situ* dos parâmetros físico-químicos: temperatura, pH, OD, salinidade, CE e TDS utilizando uma sonda multiparâmetro, transparência através do disco de Secchi e coletou-se amostras de água para análise em laboratório de nutrientes através de métodos espectrofotométricos e MPS através do método gravimétrico. Na estação fixa, os resultados analíticos estão em função da variação da maré, em geral, apresentando um comportamento senoidal, com exceção da temperatura da água que se relaciona ao horário da coleta. Tanto no período chuvoso e intermediário, quanto no menos chuvoso, o pH, o OD e o PO_4^{3-} apresentaram uma relação direta com a variação da maré, sendo os índices máximos ocorridos durante a maré enchente. A CE, TDS e a salinidade, durante o período chuvoso, apresentaram os máximos na baixamar; já durante o intermediário e menos chuvoso, os máximos ocorreram na maré enchente, em decorrência da penetração das águas marinhas. O NO_3^- , o NO_2^- e o Si(OH)_4 , entretanto, apresentaram as concentrações mínimas durante maré enchente nos períodos analisados, visto que as águas marinhas são empobrecidas nesses compostos. O MPS apresentou os máximos durante a maré vazante e os mínimos na enchente durante os períodos chuvoso, intermediário e menos chuvoso, porém a transparência não apresentou relação direta com a variação da maré e sim com o horário da coleta. Os resultados analíticos das amostras coletadas ao longo do estuário do rio Paracauari demonstram que as águas deste estuário não

apresentam amplas variações sazonais nas concentrações dos parâmetros estudados. A temperatura da água mostrou-se constante com média de 28,70°C e variação de 1,5°C nos três períodos, confirmando a homogeneidade térmica dessas águas. O pH foi ácido, com médias de 5,87 e 6,77 durante o período chuvoso e intermediário, respectivamente, e alcalino durante o período menos chuvoso (7,37) refletindo a influência das águas marinhas no estuário. A transparência dessas águas apresentou média de 10 cm durante o período chuvoso em consequência da grande carga de material em suspensão, na ordem de 93,72 mg/L, que produz um aspecto barrento nas águas dessa região; já durante o intermediário e menos chuvoso, a concentração de material em suspensão foi menor, o que ocasionou médias de transparências mais elevadas, em torno de 43 cm. A concentração de OD revelou que as águas estuarinas são mal oxigenadas durante o período chuvoso e intermediário, com teores médios de 3,11 e 4,32 mg/L, respectivamente, e bem oxigenadas durante o menos chuvoso (média de 6,30 mg/L). Todos os nutrientes dissolvidos analisados apresentaram médias mais elevadas durante o período chuvoso, devido ao aporte natural proveniente das áreas adjacentes, sendo a média de: NO_2^- de 0,08 $\mu\text{M/L}$; de NO_3^- de 6,52 $\mu\text{M/L}$; de N-amoniaco de 0,46 $\mu\text{M/L}$; de PO_4^{3-} de 0,89 $\mu\text{M/L}$; e de Si(OH)_4 de 60,14 $\mu\text{M/L}$. Já no período intermediário e menos chuvoso, há uma redução significativa nesses valores principalmente na foz, onde ocorre maior influência das águas marinhas. A CE, os TDS e a salinidade apresentaram nítida variação sazonal, com valores mínimos respectivos durante o período chuvoso de 256 $\mu\text{S/cm}$, 125,66 mg/L e 0,12 e máximos no menos chuvoso de 11002 $\mu\text{S/cm}$, 5505,03 mg/L e 6,18, sendo que nos três períodos, os valores máximos ocorreram na foz, onde há maior influência marinha. As alterações longitudinais nos parâmetros analisados no estuário do rio Paracauari são controladas principalmente pela descarga dos rios, precipitação, vento e maré. O que permite sugerir que este estuário é influenciado por águas continentais durante o período chuvoso e intermediário, e por oceânicas durante o menos chuvoso, sendo que neste último as águas do oceano penetram no estuário cerca de 40 km em relação à foz.

Palavras chave: Estuário – Rio Paracauari, Nutrientes, Meso e macro-maré, Variação sazonal, Zona de Mistura, Marajó, Ilha de (PA).

ABSTRACT

This paper evaluate the seasonal (2008) and longitudinal dynamics of abiotics parameters in water column in the mixing zone of the estuary of Paracauari River (Marajó Island-PA). This estuary is located in the eastern portion of the Marajó island – PA, and it is influenced by a wet tropical climate, with annual average temperature of 27°C, rainfall of 2.566 mm/year with two distinct seasons of rainy (that occurs from December to May and less rainy from July to November); and presents a system from meso to macrotide (3 to 5 m), half-day time. Three campaigns were carried out using a mesh of 15 stations distributed over the estuary, and a fixed station at the mouth of the river during a half of a tidal cycle. The campaigns were carried: rainy (March), intermediate (June) and less rainy (September). Were measured *in situ* physico-chemical parameters, temperature, pH, OD, salinity, CE and TDS using a multiparameter, transparency through Secchi disc and collected water samples for laboratorial analysis of the nutrients through methods spectrophotometer and MPS by the gravimetric method. In the fixed station, the analytical results are due to the variation of the tide, in general, with a sinusoidal behavior, with the exception of water temperature which ranged to the time of gathering. As rainy, intermediary and less rainy period, pH, OD and PO_4^{3-} had a direct proportion to the variance of tide, the highest indexes occurred during flood tides. The CE, TDS and salinity, during the rainy period, was maximum during low tide; during the intermediary and less rainy the maximum value occurred in the tide floods, due penetration of marine waters. The NO_3^- , NO_2^- and Si(OH)_4 , however, observed minimum concentrations during flood tide periods analysed, as the marine waters are impoverished these compounds. For MPS maximum values were observed during the ebb tide and the minimum during flood tide in the rainy, intermediate and less rainy periods, but the transparency analysis did not provide a direct proportion to the change of the tide, but with time of gathering. The analytical results of samples collected along the estuary of the river Paracauari showed that the estuarine waters do not have large seasonal variations in the concentrations of the studied parameters. The water temperature has been constant, 28.70°C average with 1.5°C variation in three periods, confirming the homogeneity of the thermal waters. The

pH was acid with averaging 5,87 and 6,77 during the rainy period and intermediary, respectively, and alkaline during the period less rainy (7,37) reflecting the influence of marine waters in the estuary. The transparency of these waters is 10 cm averaging, during the rainy period as a result of the large suspended solids load (order 93,72 mg/l), which produces a dirty aspect in the region; already during the intermediary and less rainy, the concentration of suspended solids was 37,19 and 15,18 mg/l, respectively, causing higher transparencies, around 43 cm. The concentration of OD showed that estuarine waters there is low levels during the rainy and intermediary period, with 3,11 and 4,32 mg/L, average levels, respectively, and high level during rainy season (average 6,30 mg/l). All dissolved nutrients analyzed showed high average levels during the rainy period due to natural dump from adjacent areas, averages values: NO_2^- 0,08 $\mu\text{M/l}$; NO_3^- 6,52 $\mu\text{M/l}$; n-ammoniacal 0,46 $\mu\text{M/l}$; PO_4^{3-} 0,89 $\mu\text{M/l}$; and Si(OH)_4 60,14 $\mu\text{M/l}$. In the intermediate and less rainy period, there is a significant reduction in these average levels, particularly in the mouth, where there is greater influence of marine waters. The CE, TDS and salinity showed an expressive seasonal variation, with respective minimum values during the rainy period of 256 $\mu\text{S/cm}$, 125,66 mg/l and 0,12, maximum in less rainy of 11002 $\mu\text{S/cm}$, 5505,03 and 6,18, and in all of these periods the highest value occurred in the mouth, where there is a marine water influence. Longitudinal changes in parameters analyzed in the Paracauari River estuary are controlled mainly by dump from rivers, precipitation, wind and tide. Which allows you to suggest that this estuary is influenced by continental waters during the rainy and intermediary period, and oceanic during the less rainy, which the ocean waters penetrate in the estuary around 40 km from the mouth.

Keywords: Estuary, Paracauari River, Nutrients, meso and macro-tidal, seasonal variation, the mixing zone, Marajó, Island of the (PA).

1 INTRODUÇÃO

Os estuários das costa norte do Brasil são considerados dentre os mais preservados da costa brasileira (Herz, 1991). São ecossistemas muito complexos e dinâmicos, fortemente influenciados pelas variações sazonais, descarga hídrica e sólida das drenagens regionais, marés, ventos e correntes. Esses ecossistemas estuarinos constituem locais de refúgio, reprodução e crescimento de inúmeras espécies animais (Aveline, 1980), além disso, apresenta uma complexa rede hidrográfica tendo como estuário principal o Amazonas.

Em decorrência da sua elevada importância sócio-ambiental e, conseqüentemente, da necessidade de compreensão desse complexo sistema, diversos estudos são realizados nos estuários do litoral paraense, abordando diversas subáreas (química, física, geologia e biologia) da oceanografia. Adicionalmente, as principais linhas de pesquisas nesse ambiente encontram-se focadas no estudo dos ciclos dos nutrientes, das interações com a biota, com sedimentos em suspensão e de fundo, da influência de escoamento superficial e da dinâmica natural (Melo, 1998). Alguns estudos podem ser citados, como: Lara & Dittmar (1999) estudaram a dinâmica dos nutrientes e determinaram os seus fluxos entre os mangues e as águas costeiras no Furo do Chato-PA; Dittmar & Lara (2001) analisaram as forças motrizes que atuam sobre a dinâmica dos nutrientes inorgânicos e da matéria orgânica no manguezal do estuário Caeté-PA; Dittmar et al. (2001) investigaram as principais fontes de matéria orgânica (dissolvida e particulada) através de isótopos de carbono em águas costeiras tropicais brasileiras; Cohen et al. (2004) discutiram, através de um modelo de elevação digital, o grau de inundação e elevação das marés e a frequência do manguezal relacionando-os aos dados existente da físico-química e fosfato nas águas de um canal no norte do Brasil; Santos et al. (2008); estudaram a influência dos rios Amazonas e Pará sobre a distribuição dos parâmetros físico-químicos, e da biomassa fitoplâncton na plataforma continental do Amazonas e áreas oceânicas adjacentes, Delfino (2006) abordou a geoquímica dos sedimentos superficiais de fundo do estuário do rio Maracanã, NE do Pará; Abreu (2007) e Barbosa (2007) discutiram os aspectos gerais da circulação hidrodinâmica no estuário do rio Caeté (PA) e do rio Maracanã (PA),

respectivamente, utilizando a modelagem para validar dados de corrente, maré e amplitude de maré coletados na área de estudo; Pereira (2006) desenvolveu um estudo para caracterização hidrogeoquímica do estuário do rio Curuçá (Município de Curuçá – NE do Pará) e conseqüentemente verificou as possíveis alterações relacionadas com a proximidade das localidades de Curuçá e Abade; e Alves (no prelo) está realizando uma caracterização do rio Arari, na Ilha do Marajó.

A Ilha do Marajó está inserida no Setor 2, Insular estuarino do rio Amazonas, segundo as características da Zonas Costeiras e Estuarinas Paraense (ZCEP) na classificação do Ministério do Meio Ambiente (1996), apresenta clima tropical úmido e é influenciada por meso a macromarés (3 a 5m) (DHN, 2001), as quais condicionam os padrões de sucessão dos manguezais, a produção primária dos ecossistemas e as atividades de navegação e pesca artesanal. Na parte leste de Ilha do Marajó, situa-se o rio Paracauari o qual apresenta uma heterogeneidade e dinâmica de condições físico-químicas que determinam diferenças importantes no estabelecimento da flora (Prost & RABELO, 1996), fauna bentônica (Coelho, 1976) e comunidades de peixes (Barthem, 1985) associadas a essa área. Este estuário, assim como os demais, é uma importante fonte de alimento e sustento econômico das comunidades humanas, promovendo abrigo e manutenção à rica e diversificada fauna associada, constituída principalmente de peixes, moluscos e crustáceos (Almeida, 1995). Entretanto, é um ecossistema bastante frágil às perturbações antrópicas, não suportando intervenções impactantes como desmatamento, poluição e super-exploração dos recursos naturais (Delfino, 2006).

Apesar da enorme representatividade e importância do rio Paracauari no contexto da região marajoara, há uma ausência de conhecimento científico no que diz respeito à caracterização das águas desse rio. O Instituto do Desenvolvimento Econômico-Social (IDESP) desenvolveu um estudo, realizado entre 1970 e 1980, o qual constitui o mais completo acervo de informações sobre a Ilha do Marajó; Cavalcanti (1979) desenvolveu um estudo sobre a prospecção de água subterrânea na região do rio Paracauari; Kobayashi (1979) estudou métodos geofísicos aplicados a prospecção de água subterrânea no município de Ponta de Pedras; Piuci (1978) também desenvolveu estudos sobre a hidrogeologia na área piloto de Ponta de Pedras. Além

desses, Rosário et al. (2008) realizaram estudos sobre a caracterização física do estuário do rio Paracauari, através da medição de corrente de maré, salinidade, intensidade e direção do vento e amplitude de maré; e Santos et al. (2008) estudaram a ocorrência de fosfato solúvel em águas estuarinas de baixas salinidades na Baía de Marajó (PA), sendo um ponto de estudo localizado na foz do rio Paracauari.

Assim, este trabalho apresenta a dinâmica sazonal (2008) e longitudinal dos parâmetros abióticos na coluna d'água da Zona de Mistura do estuário do rio Paracauari, e mostra a variação das Zonas de Rio e de Mistura segundo a classificação de Kjervfe (1987) durante os diferentes períodos sazonais.

2 OBJETIVO

2.1 GERAL

Realizar um diagnóstico da dinâmica sazonal (2008) e longitudinal da Zona de Mistura do estuário do rio Paracauari (Ilha do Marajó-PA).

2.2 ESPECÍFICOS

- Investigar a variabilidade espacial e temporal na coluna d'água dos seguintes parâmetros abióticos: temperatura, pH, condutividade elétrica, salinidade, transparência, material em suspensão, oxigênio dissolvido e sólidos totais dissolvidos para caracterização das águas desse trecho do estuário;
- Determinar a dinâmica dos macronutrientes (nitrato, nitrito, N-amoniaco, fosfato e silicato) em cada período distinto, destacando suas principais diferenças e afinidades;
- Delimitar as Zonas de Rio e de Mistura do estuário do rio Paracauari segundo a classificação de Kjerfve (1987) nos períodos chuvoso, intermediário e menos chuvoso;
- Interagir a variação da maré com a variação dos parâmetros abióticos na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari em diferentes períodos sazonais.

3 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A Ilha do Marajó, localizada no extremo norte do estado do Pará está limitada pelas coordenadas geográficas 48° 20' W, 51°W e 0° S, 2° S e apresenta limites com o estado do Amapá e Oceano Atlântico ao norte; foz dos rios Pará e Tocantins ao sul; Baía do Marajó a leste; e a oeste do estado do Amapá. Esta ilha compreende uma área de aproximadamente 50.000 km² situada na foz do rio Amazonas (Lima et al. 2004).

A área de interesse deste estudo, o rio Paracauari (Figura 1), localizado na porção leste de Ilha do Marajó, ocupa uma área de aproximadamente 250 km² e separa os municípios Soure e Salvaterra.

A distância em relação à Belém é de aproximadamente 86 km, e o acesso se dá por via aérea ou fluvial através de embarcações que partem a partir do trapiche de Icoaraci, ou do terminal hidroviário da Companhia Docas do Pará, que percorrem a Baía do Guajará até o porto de Camará que fica à foz do rio com o mesmo nome.

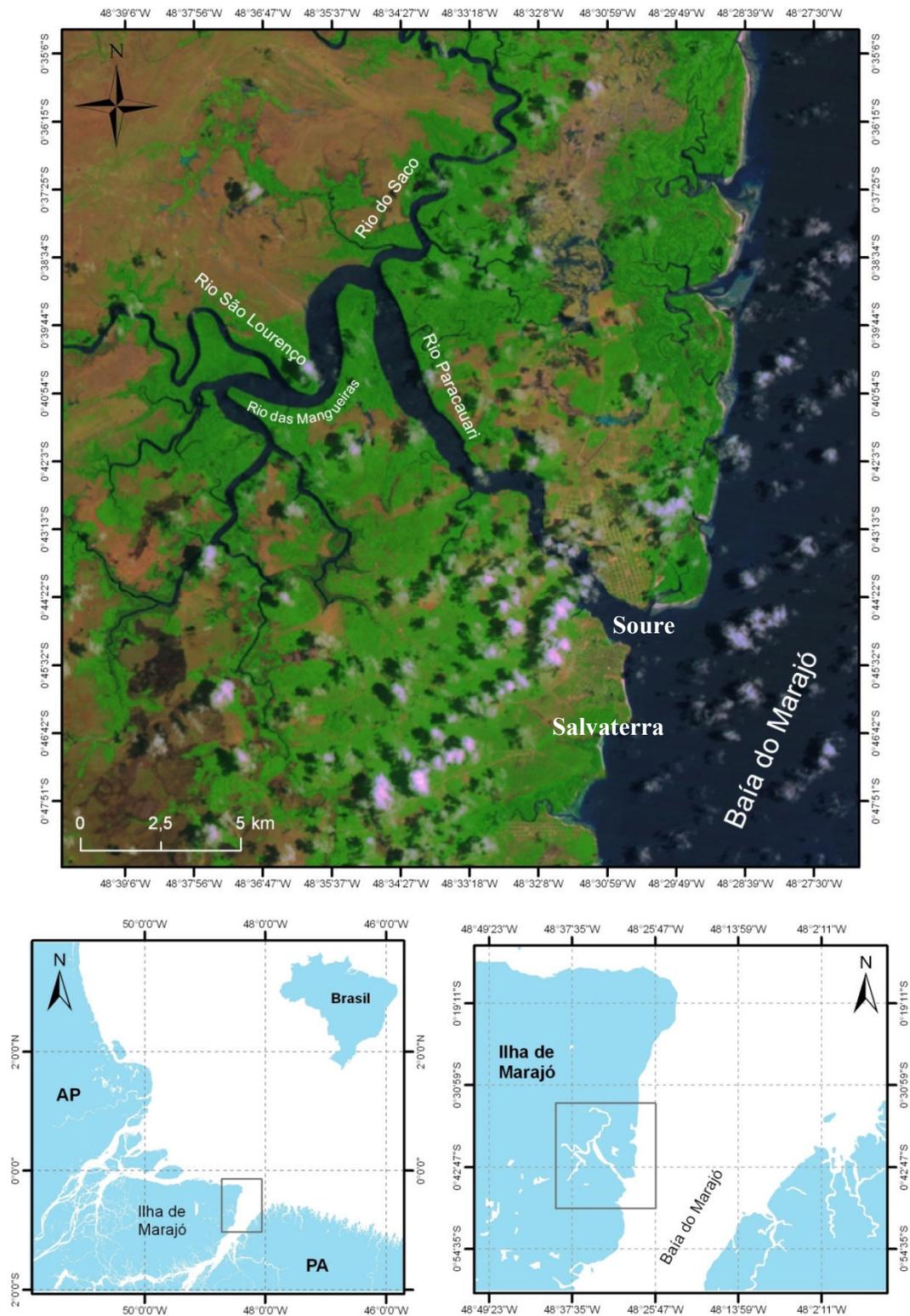


Figura 1: Localização da área de estudo. (1) Ilha do Marajó; (2) Trecho da baía de Marajó, incluindo a Ilha do Marajó; (3) Porção leste da Ilha do Marajó – Rio Paracauri (imagem Landsat ETM+, composição 5R4G3B)

3.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

A Ilha do Marajó faz parte da Bacia Sedimentar da foz do Rio Amazonas a qual compreende uma parte emersa, conhecida como Bacia do Marajó e uma parte situada na plataforma continental (Bemerguy, 1978), totalizando uma área de 180.000 Km² (Teixeira & Costa, 1992).

A Bacia sedimentar da foz do rio Amazonas é constituída pelos grabens de Limoeiro e Mexiana e pelas plataformas continentais do Pará e Amapá (Tancredi, 1986). É limitada a noroeste pelo Escudo das Guianas e a sudeste pelo Escudo Central Brasileiro. Entre esses dois escudos, situa-se o Arco de Gurupá, que separa a Bacia do Marajó da Bacia Paleozóica do Baixo Amazonas e o Arco Tocantins que separa a Bacia do Maranhão (Schaller et al. 1971) (Figura 2).

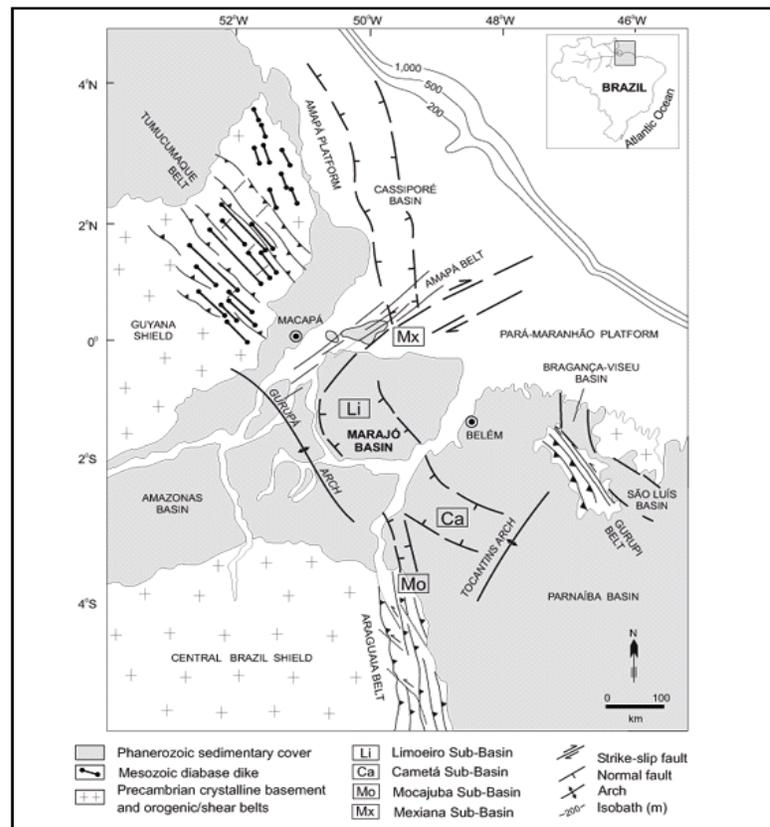


Figura 2: Configuração tectônica simplificada do norte do Brasil com a localização do Rift Marajó

Fonte: Costa et al., 2002.

A Bacia de Marajó tem-se a forma alongada na direção NW-SE e estende-se da região a leste da Bacia Amazonas e adentra a região da Foz do rio Amazonas na Ilha de Marajó, onde se bifurca em dois ramos de rifte, constituindo o graben de Mexiana a norte e o graben de Limoeiro a leste da Ilha de Marajó. Uma das principais características da bacia é a ocorrência de notável anomalia gravimétrica positiva no eixo central da bacia, interpretada como intrusão de material mais denso na crosta (Milani, 1991). A Bacia de Marajó é caracterizada por falhas normais NW e NNW e direcionais NE e ENE que controlaram a geometria da bacia. Sua espessura total atinge mais de 11.000 m (Costa et al. 2002), com idade do Cretáceo até o recente, sendo constituída pelas seqüências pré-rifte, sinrifte e pós-rifte.

A formação geológica estratigráfica da região do estuário do rio Paracauari data do Quaternário e é composta pelas unidades dos aluviões, os quais formam a ampla planície aluvial do rio Amazonas, na região da Ilha do Marajó, Caviana, Mexiana e Ilha Grande de Gurupá (Radam Brasil, 1974).

A região do rio Paracauari está a leste dos “grabens” de Mexiana e Limoeiro, com espessura de sedimentos provavelmente menor que 500 m. Na região desse rio ocorrem principalmente os sedimentos do Grupo Barreiras. Nas proximidades do rio Paracauari são reconhecidas várias gerações de paleocanais com seqüências estuarinas associadas.

3.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

A ilha do Marajó apresenta topografia suave, com altitudes que não atingem duas dezenas de metros, e em grande parte constitui uma extensa planície sujeita as inundações periódicas pelas chuvas ou pelas cheias dos rios, os quais estão sob influencia de marés (Teixeira & Costa, 1992).

A distribuição das formas de relevo da região da ilha do Marajó é marcada por uma brusca interrupção da planície de aluviões holocênicos da calha do rio Amazonas, logo abaixo da foz do rio Xingu. A montante desta área corre o rio Amazonas em extensa planície, que está em pleno processo de colmatação, enquanto que a jusante,

a sedimentação mais significativa já ocorreu quase totalmente. Com isso, observa-se uma nítida separação entre duas feições geomorfológicas diferentes e bem identificadas. O nível de aplainamento da região é designado de pediplano Pleistocênico, desigualmente distribuído na região (Radam Brasil, 1974).

Assim, Barbosa et al. (1974) descrevem que o relevo da Ilha do Marajó é constituído por duas grandes unidades morfoestruturais: Planalto Rebaixado da Amazônia e Planície Amazônica.

O Planalto Rebaixado da Amazônia, também chamado de Planalto do Baixo Amazonas ou Pediplano Pleistocênico, abrange a parte centro sul da Ilha do Marajó e é constituído por sedimentos terciários do Grupo Barreiras/Pós-Barreiras que, na área de estudo, dá origem ao Planalto Costeiro. Esta unidade faz parte do domínio morfoclimático dos planaltos amazônicos rebaixados ou dissecados, áreas colinosas e planícies revertidas por floresta densa. Correspondem a superfícies pediplanas, que formam níveis de baixos platôs.

A Planície Amazônica apresenta um conjunto particular de paleocanais, “furos”, “igarapés”, “paraná”, meandros abandonados e também muitos lagos. Essa planície, a oeste apresenta os baixos terraços e áreas em colmatagem, com lagos de barragens, sujeitas a inundações periódicas, sendo incluída no domínio morfoclimático dos planaltos amazônicos das áreas colinosas e planícies revestidas por floresta densa. Na porção leste, onde está situado o estuário do rio Paracauari, esta unidade apresenta planícies fluviais colmatadas sujeitas às inundações pluviais e paleocanais em forma de meandros.

A Ilha do Marajó é caracterizada por sedimentos Pós-Barreiras, os quais formam uma sucessão contínua de sedimentos, que desaparecem em direção ao norte, onde são substituídos pelos depósitos do Holoceno. Estes depósitos estão presentes no lado oriental da Ilha do Marajó, onde grandes áreas são periodicamente alagadas. As áreas de sedimentação (Holoceno) na Ilha do Marajó estão localizadas a apenas 2-5 m acima do nível do mar atual, enquanto as áreas com os sedimentos do Barreiras e Pós-Barreiras ocorrem até 40 m. Próximo a Cachoeira do Arari, os sedimentos do Barreiras e Pós-Barreiras ocorrem até uma altitude de 15m e máximo de 20m (Rossetti et al. 2008).

A morfologia costeira da Ilha do Marajó apresenta escarpas em seqüências transicionais do Terciário Superior, enquanto no interior da ilha dominam elevações sustentadas por crosta laterítica do Pleistoceno Médio. No leste da Ilha do Marajó são reconhecidas várias gerações de paleocanais (Rossetti et al. 2008) com seqüências estuarinas associadas, enquanto no lado oeste predomina uma planície flúvio-marinha (Costa et al., 2002).

3.4 SOLOS

A Ilha do Marajó apresenta uma grande diversidade de tipos de solos, segundo Corrêa et al. (1974):

1) Latossolo Amarelo ocorre na porção sul e apresenta textura média, com porcentagem de argila entre 15 e 35%, arenosos, fortes e excessivamente drenados, apresentando textura maciça;

2) Plintossolo Háplico (Laterita Hidromórfica) ocorre na porção noroeste da ilha é um solo de textura indiscriminada, imperfeitos a mal drenados, quando secos apresentam-se moderados a fortemente estruturados;

Tanto latossolo amarelo quanto o Plintossolo Háplico, originários do terciário, são profundos, arenosos e com acidez elevada. A fertilidade destes solos é baixa, concentrando-se na sua camada superficial, apresentando uma variação de 10,0 a 15,0 cm. Dadas as condições climáticas da região, as características físicas, químicas e biológicas destes solos fazem com que os mecanismos de erosão e de oxidação da matéria orgânica se processem rapidamente após a derrubada de sua cobertura vegetal, diminuindo assim a sua fertilidade.

3) Gleissolo Háplico (Solo Hidromórfico Gleyzado) ocorre em uma pequena área na margem esquerda do Rio Paracauari, é um solo mal drenado e apresentam estruturas em blocos sub-angulares e maciços; desenvolvido sobre sedimentos recentes do Quaternário, em geral é ácido e com textura argilosa. Este solo apresenta um horizonte superficial em torno de 25 a 30 cm, com alta porcentagem de matéria orgânica, sobre uma camada mineral originária de material sedimentar. A fertilidade

desse solo concentra-se na sua camada superficial, devido basicamente a dois mecanismos: o primeiro refere-se à liberação de nutrientes pela matéria orgânica oriunda da decomposição de material vegetal florestal; o segundo é devido à deposição sobre o solo de substâncias minerais e orgânicas em suspensão nas águas barrentas do rio Amazonas causada pela movimentação das marés.

4) Solo indiscriminado de mangue (Solo Halomórfico) é pouco profundo, exposto as condições de má drenagem, e apresentam estruturas predominantemente maciças. Em geral, esse tipo de solo ocorre no litoral da Ilha do Marajó.

As margens do estuário do rio Paracauari, podem ser observados os solos: Plintossolo háplico, Gleissolo Háplico e em menor porção o Solo indiscriminado de mangue e o Latossolo Amarelo (Figura 3).



Figura 3: Mapa da vegetação da parte leste da Ilha do Marajó, próximo ao rio Paracauari
 Fonte: IBGE, 2003.

3.5 VEGETAÇÃO

A Ilha do Marajó apresenta várias regiões ecológicas distintas (Japiassú & Goés Filho, 1974), em decorrência das variações locais de chuva, topografia e de solo. Entretanto, destacam-se:

- Floresta tropical densa distribuída na porção ocidental da ilha, que devido à influência das águas apresenta atrás dos manguezais, a Floresta de igapó;
- Cerrado, que abriga a vegetação de Parques com ou sem florestas de galeria que é regionalmente conhecida como campos naturais na porção oriental da ilha. A região de campos abrange os Campos altos, os Campos pouco alagados considerados como áreas de melhores pastos e os Campos baixos, onde também as pastagens são boas, além dos Mondongos que constituem os campos baixos, atoleiros em grande parte submersos com raríssimos tesos (áreas topograficamente elevadas em relação à área adjacente) (Miranda Neto, 1976).

Em áreas costeiras sob influência marinha, principalmente ao norte do Rio Paracauari ocorrem, os manguezais e restingas (França, 2003), sendo os manguezais apresentam associados com espécies de várzea (Almeida, 1995). Este padrão é devido à sazonalidade no teor de cloretos das águas, cujas concentrações mais elevadas ocorrem no período menos chuvoso, enquanto as menores são registradas no chuvoso. Já na margem esquerda do estuário do rio Paracauari, ocorre a floresta densa de planície e, em pequenas porções isoladas, há floresta secundária latifoliada.

3.6 ASPECTOS CLIMÁTICOS E CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

3.6.1 **Clima**

A precipitação é uma variável climatológica bastante significativa na região tropical. No período chuvoso, as chuvas caracterizam-se pela forte intensidade, enquanto que no período menos chuvoso, são freqüentes as estiagens de duração variável. As características do regime de chuva aliadas ao complexo sistema de

floresta, grandes rios e bacias fluviais que circundam a ilha do Marajó, afetam as variações na temperatura e umidade do ar, nebulosidade e quantidade de radiação incidente à superfície.

A ilha do Marajó é influenciada por um clima tropical chuvoso, enquadrando-se no grupo “A” da classificação de Köppen (Martorano et al., 1993). A temperatura do ar apresenta baixas variações mensais e anuais, sendo a média anual da temperatura equivalente a 27° C e os valores médios mensais variam entre 25°C e 29°C. Os maiores índices (32,1°C) são observados durante os meses de setembro e outubro. As variações de temperaturas diárias são bastante significativas, pois produzem uma apreciável queda da temperatura durante a noite (Lima et al. 2004). Essa região apresenta níveis de pluviosidade anual superiores a 3.000 mm (Martorano et al., 1993).

O clima da parte oriental da Ilha, onde está situado o Rio Paracauari é classificado como Am, apresentando dois períodos sazonais distintos: 1) período chuvoso ou “inverno” que ocorre de dezembro a maio, com os maiores índices entre fevereiro e abril, com precipitação média de 2,566 mm. O principal sistema meteorológico responsável por este máximo climatológico é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que atinge sua posição mais ao sul sobre o Oceano Atlântico equatorial nesses meses; 2) e período menos chuvoso ou “verão” que se estende de junho a novembro, com os menores índices entre setembro e novembro, com média de 414,3 mm de chuva (Ferreira, 2001, Lima, 2002). Apresentando entre os dois períodos uma fase de transição, na qual pode haver antecipação ou retardo das chuvas, com maior ou menor intensidade (Lima et al. 2004).

As elevadas taxas de precipitação, associadas à temperatura, insolação e evaporação, produzem elevados valores de umidade relativa do ar (Teixeira & Costa, 1992) acima de 80% em todos os meses do ano. Os valores mais elevados de umidade relativa ocorrem no trimestre mais chuvoso, aproximadamente 89%, em consequência das temperaturas menores nesse período (Moraes, 2005).

3.6.2 Parâmetro aerodinâmico

A característica predominante do vento é de fluxo zonal de leste em quase todo o litoral paraense. A velocidade observada à superfície em média no ano fica em torno de 7 km.h^{-1} (Mácola & El-Robrini, 2004).

Segundo o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (1988), a Zona Litorânea Norte-Nordeste possui ventos médios anuais entre $5,0$ e $7,5 \text{ m.s}^{-1}$ na parte norte dessa região (litorais do Amapá e Pará). A Ilha do Marajó apresenta velocidade do vento de superfície mais forte na região oriental, atingindo a marca de $2,5 \text{ m.s}^{-1}$; e na região ocidental a velocidade diminui para cerca de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$ (Lima et al. 2004). Os ventos da parte oriental da ilha do Marajó, onde está situado o rio Paracauari, variam entre $6,0$ e $7,0 \text{ m.s}^{-1}$ durante o período chuvoso e de estiagem, respectivamente, e apresentam direção preferencial NE (Ferreira, 2001, Lima, 2002).

3.7 HIDROLOGIA

A Região Hidrográfica Amazônica é constituída pela bacia hidrográfica do rio Amazonas situada no território nacional, pelas bacias hidrográficas dos rios existentes na Ilha de Marajó, além das bacias hidrográficas dos rios situados no Estado do Amapá que deságuam no Atlântico Norte (Resolução CNRH n° 32, de 15 de outubro de 2003), perfazendo um total de $3.870.000 \text{ km}^2$ (Agência Nacional de Águas - ANA, 2007).

Seguindo as características dos rios da Amazônia, a hidrografia paraense é entrecortada por dezenas de rios e outros cursos d'água, como lagos, paranás, furos e igarapés, que ajudam a formar um dos mais importantes ecossistemas da terra e resultam, principalmente, do grande índice pluviométrico registrado na região. Dentre esses rios, é possível citar alguns que influenciam direta ou indiretamente a hidrografia da Ilha do Marajó, como os Rios Amazonas, Tocantins e Pará (Figura 4).

3.7.1 Rio Amazonas

O Rio Amazonas percorre 6.280 km e apresenta uma descarga hídrica variando entre 100.000 a 220.000 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Sua largura média é de 5 km e possui 7 mil afluentes, além de diversos cursos de água menores e canais fluviais criados pelos processos de cheia e vazante.

No território paraense, este rio corre no sentido Oeste-Leste e recebe vários dos seus 1100 afluentes, com Tapajós e Xingu pela margem direita, e Nhamundá, Trombetas, Paru e Jarí pela margem esquerda.

O estuário do rio Amazonas resulta da mistura de aproximadamente 6.300 $\text{km}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ de águas continentais e $9.3 \times 10^8 \text{ t} \cdot \text{ano}^{-1}$ de sedimentos com águas oceânicas (Guyot, 1993), representando cerca de 20% do total da água doce (Gibbs, 1970) e 10% do total de sedimentos (Meade et al., 1985) que são carregados pelos rios de todo o mundo para o mar.

3.7.2 Rio Tocantins

Formado pelos rios Maranhão e Paraná, o rio Tocantins apresenta uma área de drenagem de aproximadamente 757.000 km^2 , com uma descarga média anual de 12.000 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e uma descarga sedimentar de $18 \times 10^6 \text{ t} \cdot \text{ano}^{-1}$ (Latrubesse & Stevaux, 2002). Nasce em Goiás, encontra o rio Araguaia próximo ao município de Marabá no Pará e desemboca na foz do Amazonas, formando o estuário do Rio Pará, às proximidades de Belém. Seu maior afluente é o rio Araguaia (ANA, 2007).

3.7.3 Rio Pará e Baía do Marajó

O rio Pará é o segundo rio do sistema amazônico de drenagem, formado pela confluência de um ramo do rio Amazonas com o rio Tocantins. Drena uma área de $0,7 \times 10^6 \text{ km}^2$ e possui uma vazão estimada em cerca de 100 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ sendo um dos principais

formadores da Baía do Marajó. Através do estreito de Breves, encontra o Rio Amazonas, separando a ilha do Marajó do continente. Da foz do rio Tocantins segue até o estuário do rio Amazonas, na direção Nordeste.

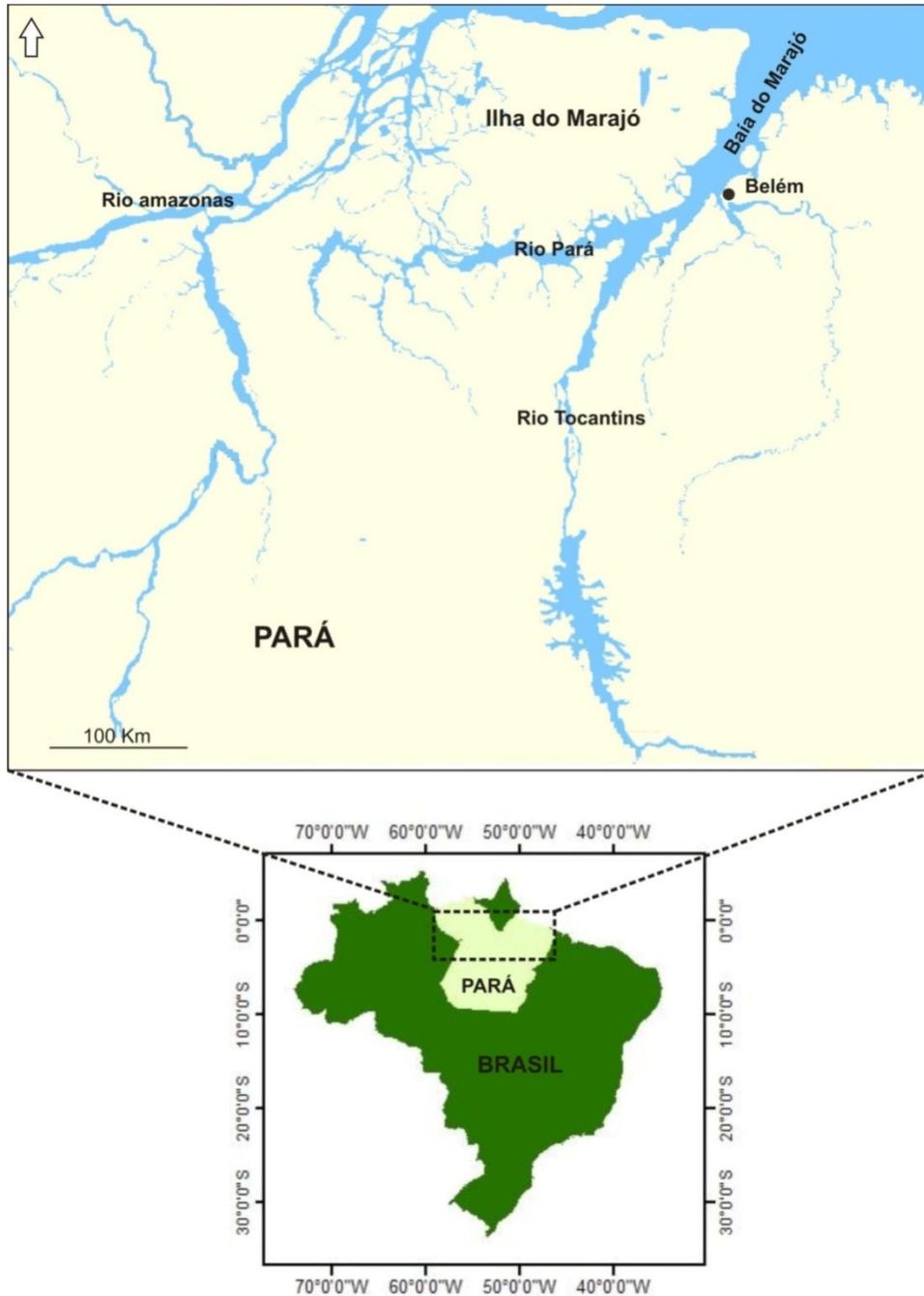


Figura 4: Mapa hidrográfico mostrando os rios Pará, Tocantins, Amazonas e baía do Marajó
Fonte: MAPSOURCE, 2008.

3.7.4 Hidrografia do arquipélago do Marajó

A Ilha do Marajó, localizada no estuário do rio Amazonas, é circundada pelos rios Amazonas, Pará, Tocantins, baía do Marajó e Oceano Atlântico. Este sistema hidrográfico pertence à Região Portel – Marajó, mais precisamente à Sub-Região do Arquipélago do Marajó (Tabela 1) (Lima et al. 2004). Por serem influenciadas pela pluviosidade e marés, essas bacias hidrográficas podem interligar-se durante a estação chuvosa. Dentre essas bacias, a mais importante é a do Rio Arari, não só pela sua extensão e grandeza do volume que drena, como também pela sua importância sócio-econômica (Teixeira & Costa, 1992).

Tabela 1: Classificação adotada para a hidrografia da ilha do Marajó

Região Hidrográfica		Sub-região Hidrográfica	Bacias	Bacias	Área (Km ²)	Municípios
Portel – Marajó	Rio Amazonas (afluente pela margem esquerda e foz)	Arquipélago Marajó	Marajó Ocidental	Rio Anajás	24082,5	Afuá, Chaves, Anajás e Breves
				Rio Pracuúba	930,08	São Sebastião da Boa Vista
				Rio Canaticú	1538,35	Currallinho
			Marajó Oriental	Rio Arari	7221,33	Santa Cruz do Arari e Cachoeira do Arari
				Rio Paracauari	1211,13	Soure
				Rio Camará	1018,23	Salvaterra
				Rio Atuaá	3971,72	Muaná e Ponta de Pedras

Fonte: Lima et al. 2004

A drenagem da Ilha do Marajó (Bemerguy, 1982), pode ser subdividida em dois grupos com arranjos distintos: 1) na porção oeste tem-se uma rede de drenagem densa e ativa, e é caracterizada por um emaranhado de canais interconectados, denominado

“furos”; 2) na parte leste ocorre uma rede de drenagem esparsa, constituída por rios sendo alguns temporários, além de inúmero lagos (Figura 5). Nenhum curso de água da ilha é alimentado nas nascentes por fontes perenes. Além disso, os rios da Ilha do Marajó são dominados pela maré (evidenciado pela presença de manguezais), com o volume de água variando de acordo com a estação do ano (seca ou chuvosa).



Figura 5: Rede de drenagem da Ilha do Marajó

Fonte: Lima et al. 2004

Canais menores ligados à Baía do Marajó completam o quadro da rede de drenagem da área, concentrados principalmente na porção nordeste desta, sendo os mais expressivos os canais de Pesqueiro e Araruna, situados nas praias homônimas. Na porção meridional, os principais canais são os igarapés Jubim e Água Boa, aos quais estão associadas faixas estreitas e restritas de mangues, devido a esta parte da

área estar associada às cotas topográficas mais altas, evidenciados pelas extensas linhas de falésias (Teixeira & Costa, 1992).

A hidrografia regional tem importância vital, destacando-se seu aproveitamento econômico: a) como único meio de transporte e comunicação entre as cidades e vilas; b) como potencial pesqueiro; e c) como enriquecedor sedimentar das várzeas, através da ação dos rios de água barrenta.

3.7.4.1 Rio Paracauari

A bacia de drenagem do rio Paracauari totaliza uma área de 608km². Apresenta-se altamente meandrante, com desvios moderados de seu curso d'água, sendo que, para sua montante, flui E-W, enquanto que para sua jusante, sofre alta inflexão (i.e., ângulo de 90°), fluindo para N-S e SE (Souza & Rossetti, 2009). Possui uma largura de até 1 km, e em suas margens, há uma abundância de lagos e lagoas e tem continuidade com um paleocanal meandrante localizado a sul deste rio, e que está relacionado com a drenagem da área do Lago Arari.

O rio Paracauari, principal rio da área leste, separa os municípios de Soure e Salvaterra e desemboca diretamente no Oceano Atlântico, porém, segundo Lima et al. (2004), as suas águas não são totalmente salobras devido à dissolução causada pelo grande aporte de água descarregada pela baía do Marajó e pelo rio Amazonas.

O rio Paracauari tem seu trajeto influenciado por elementos estruturais do quadro neotectônico (França, 2003), ocorre no sentido oeste-leste e segue seu curso apresentando meandros, principalmente a alguns quilômetros da foz.

3.8 CONDIÇÕES OCEANOGRÁFICAS

3.8.1 Marés e correntes associadas

Muitos dos estuários do mundo são influenciados, em maior ou menor grau, pelas correntes de marés. A energia destas correntes de marés serve como mecanismo de mistura entre as águas doces provenientes dos rios e as águas salgadas oriundas do ambiente marinho, bem como a ressuspensão, transporte e deposição dos sedimentos, a formação de canais e bancos e a redistribuição de contaminantes que possam existir na área. A amplitude e duração das marés, bem como a intensidade das correntes são função da quantidade de chuva, da intensidade dos ventos reinantes e das variações das direções das correntes nos canais, igarapés, rios e bancos (Corrêa, 2005).

No litoral paraense, as correntes de maré agem perpendicularmente a costa, com velocidades máximas, superiores em média, de 1,5 nós na plataforma continental. As fortes correntes de maré atingem velocidades da ordem de 2,1 nós (6 horas antes da preamar, nas marés de sizígia) e 1,9 nós (4 horas após a preamar, nas marés de quadratura). As correntes de marés são, também, as principais responsáveis pela presença dos inúmeros bancos de areias, que se dispõem perpendicularmente à costa, na foz do rio Pará e offshore da Ilha dos Guarás (Mariteua) (Mácola & El-Robrini, 2004). No rio Paracauari, as correntes de maré superficiais apresentaram seus valores máximos durante a vazante ($0,61 \text{ m.s}^{-1}$) e no início da enchente ($0,7 \text{ m.s}^{-1}$) durante a maré de quadratura (Rosário et al. 2008).

Segundo Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN (1976) a corrente de enchente possui direção aproximada de SSW, nas proximidades da baía do Marajó. A velocidade das correntes de marés, no estuário da baía de Marajó e em suas cercanias, pode exceder a 250 cm.s^{-1} . Suas amplitudes variam dependendo do ponto considerado, em Salinópolis a média da maré é de 2,75m, variando de 0,1 a 5,5m; na ilha do Mosqueiro, próximo a Belém, a média é de 1,84m, com variações entre 0,2 a 3,6m e no canal de Breves a média é de 0,69m, com variações entre 0,1 e 1,2m, entre a maré baixa e a maré alta.

A amplitude diária das marés apresenta uma elevada variação durante um ano, sendo registrados valores entre 2,5 m e 4,0 m, na cidade de Ponta de Pedras, próximo a foz do rio Marajó-Açu (Kobayashi, 1979). O estuário do rio Paracauari é dominado por um regime de meso a macromarés, cuja variação das marés de sizígia alcança valores máximos entre 3,6 e 4,7 m, entre as ilhas de Mosqueiro e dos Guarás (DHN, 2001).

Além disso, o litoral norte sofre influência das ondas formadas a partir dos alísios, que apresentam alturas abaixo de 1,5m em mar aberto. Porém, trabalhos técnicos mostram a ocorrência episódica de ondas oceânicas geradas por Ciclones Tropicais do Atlântico Norte, que alcançam períodos de 20s e altura de 3m no litoral norte (Mácola & El-Robrini, 2004).

As variações de intensidade das correntes superficiais acompanharam as variações de intensidade das rajadas de vento medidas. As velocidades mínimas do vento foram de $4,51 \text{ m.s}^{-1}$ durante o estofa de baixamar e de $4,7 \text{ m.s}^{-1}$ durante o estofa de preamar. A predominância da direção dos ventos foi de NE-E.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 ESTUÁRIOS

Os estuários são encontrados ao redor de todo o globo, em qualquer tipo de clima. As melhores condições para o seu desenvolvimento são encontradas nas planícies costeiras, em médias latitudes.

Os estuários, por serem ambientes de grande complexidade e importância ecológica e econômica, principalmente por apresentarem uma grande diversidade de características na sua dinâmica, tornaram-se alvo de estudos em todo o mundo. O grande volume de estudos acerca de estuários promove modificações em definições e critérios de classificação, tornando-os mais complexos. Em geral, os estuários podem ser classificados de acordo com os aspectos geomorfológicos, a estratificação de salinidade, os processos físicos atuantes (ondas e/ou marés), o modo de formação da bacia, padrão de circulação estuarina ou mecanismos físicos deposicionais dominantes.

Atualmente, uma das definições mais conhecidas é a do Pritchard (1981) que considera que um estuário “é um corpo de água costeiro semi-fechado com ligação livre com o oceano aberto, estende-se rio acima até o limite da influência da maré, sendo que em seu interior a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental”.

Os estuários possuem um tempo de vida curto na escala geológica, já que sua forma e sua extensão são modificadas constantemente pela erosão e deposição de sedimentos. Também podem sofrer alterações drásticas em função do aumento ou da redução do nível dos oceanos (Miranda & Castro, 2002).

Os estuários, sendo zonas de mistura, apresentam limites variáveis e, conseqüentemente, as propriedades da água tendem para os valores nos seus extremos, marinhos a jusante e fluvial a montante. Em zonas sujeitas à maré, a dificuldade de delimitação é ainda maior em virtude do escoamento na fronteira com o mar ser alternado. Segundo Fairbridge (1980) os estuários podem ser subdivididos em três partes: estuário inferior ou parte marinha em comunicação com o mar aberto; estuário intermediário, sujeito a forte mistura das águas doce e salgada; e estuário superior ou fluvial, caracterizado pela água doce, sujeito diariamente à ação das marés.

Kjerfve (1987) subdividiu um estuário, ou mais adequadamente um sistema estuarino, em três zonas distintas:

- a) Zona de maré de rio (ZR): correspondente a parte fluvial com salinidade inferior a 1, mais ainda sujeita à influência da maré;
- b) Zona de mistura (ZM): ocorre a mistura da água doce proveniente da drenagem continental com a água da região costeira adjacente;
- c) Zona costeira (ZC): corresponde a região costeira adjacente, delimitada pela pluma de maré vazante.

4.1.1 Classificação

Os estuários são ambientes complexos, do ponto de vista físico: circulação, processos de mistura e estratificação da salinidade, e todos estes fatores dependem da geometria, da descarga de água doce, da maré, da circulação na região costeira adjacente, e do vento. Como os processos de natureza biológica, química e geológica são fortemente influenciados pelas propriedades e variáveis físicas, há necessidade de uma abordagem interdisciplinar para melhor entendimento destes ambientes no contexto de um ecossistema costeiro.

Como a dinâmica dos estuários pode ser considerada mais complexa quando comparados com a dinâmica dos oceanos abertos e a do sistema fluvial, há uma dificuldade para organizar e agrupar as características estuarinas e, assim, classificar os estuários similares em conjunto. Entretanto, atualmente, as classificações mais usadas são baseadas na geomorfologia, na estratificação salina e nos princípios dinâmicos (Miranda & Castro, 2002).

4.1.1.1 Classificação segundo a geomorfologia

A configuração de um estuário está relacionada com sua origem e localização no Globo. Tendo em vista essas características, Pritchard (1967) classificou os estuários

segundo a sua geomorfologia como: (a) estuários de planície costeira; (b) Estuários do tipo Fjord; (c) Em forma de barra; e (d) Estuários produzidos por processos tectônicos (Figura 6).

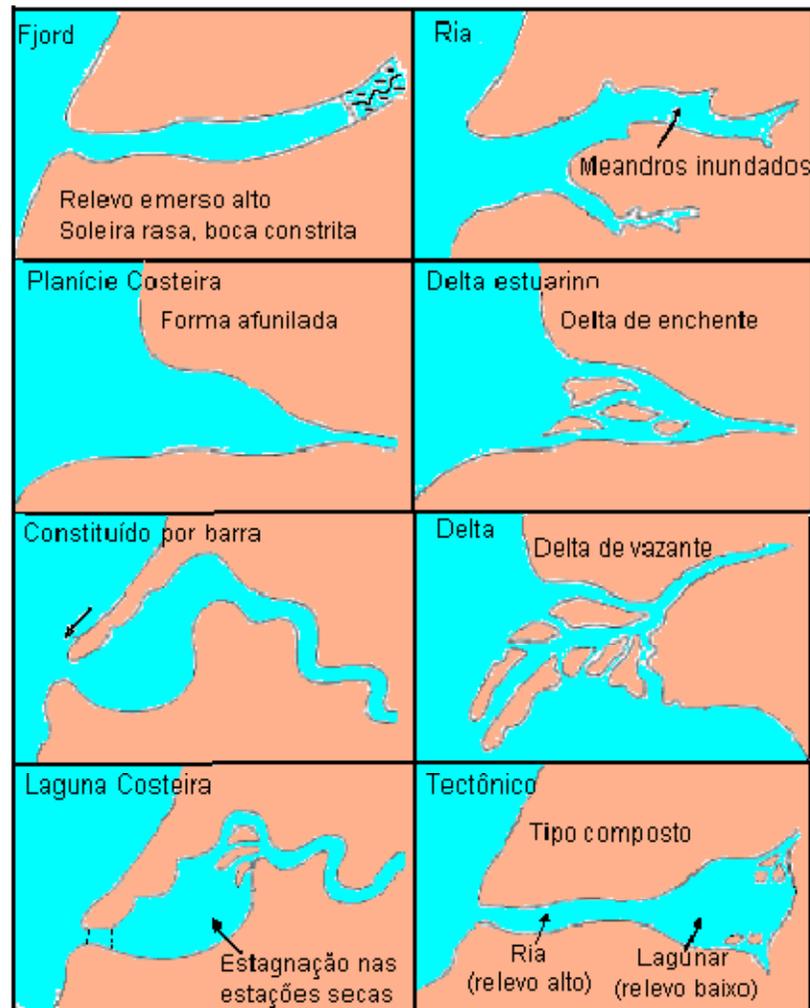


Figura 6: Representação esquemática dos principais tipos de estuários (inlets) (adaptado de Fairbridge, 1980. in: Miranda & Castro, 2002).

a) Estuários de planície costeira

Estes estuários formaram-se durante a transgressão do mar no Holoceno, que inundou os vales dos rios (Miranda & Castro, 2002). O processo de inundação foi muito

mais acentuado do que o da sedimentação e a topografia atual tornaram-se muito semelhante ao vale do rio. São típicos de regiões de planície costeira e, em geral, estão restritos a latitudes temperadas, e o montante de descarga de sedimentos seja relativamente pequeno, comparado com o volume do prisma da maré (o volume entre o nível alto e baixo da água).

Esses estuários apresentam profundidade máxima em torno de 30 metros. A área da seção transversal em geral aumenta estuário abaixo, às vezes de forma exponencial, e a configuração geométrica da seção transversal tem a forma de V, além disso, é comum o canal central apresentar-se de forma sinuosa. Devido ao processo recente de sedimentação, o fundo é preenchido com lama e sedimentos finos na sua parte superior, os quais se tornam mais grossos em direção à foz.

São exemplos desse tipo de estuário: Chesapeake Bay e Delaware Bay, na costa leste dos Estados Unidos; o estuário do Rio São Francisco, Rio de Contas e Rio Potengi, no litoral brasileiro (Miranda & Castro, 2002).

b) Estuários tipo fjord

Os fjords foram formados em áreas recobertas pelas geleiras, em altas latitudes, em regiões montanhosas durante o Pleistoceno, atualmente invadidas pelas águas do mar. Suas aberturas foram escavadas durante um nível do mar mais elevado que o atual. A pressão e o acúmulo de gelo aprofundam e alargam os vales de rios pré-existent, e os blocos de rochas desprendem das extremidades e do peitoril das elevações, particularmente na foz e na intersecção dos fjords. Alguns fjords podem chegar a 100 km de comprimento. Seu corte transversal é quase retangular, apresentando forma de leito em **U** (Miranda & Castro, 2002).

Os fjords apresentam fundos rochosos e os depósitos de sedimentos, ocorrem em suas cabeceiras. As descargas dos rios são pequenas, comparadas com o volume total desses ambientes. São exemplos de fjords: Loch Etive (Escócia), Sagne Fjord (Noruega); Milford Sound (Nova Zelândia). Fjords são comuns também no Alasca e no Chile.

c) Estuários em forma de barra

Esses estuários formaram-se a partir do afogamento dos vales de rios durante a transgressão holocênica. Esse tipo de estuário é interrompido, servindo de barreira contra a ação das ondas nas praias. Eles são bem desenvolvidos, onde há variações de marés muito restritas e um grande volume de sedimentos disponíveis. Como consequência, os estuários em forma de barra estão associados a depósitos costeiros, apresentando-se com poucos metros de profundidade. É comum a presença de lagos extensos e rasos associados. Eles são encontrados mais facilmente em regiões tropicais ou em áreas com depósitos de sedimentos costeiros ativos. São exemplos: Estuário Vellar (Índia); Complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (São Paulo) (Miranda & Castro, 2002).

d) Outros tipos de estuário

Segundo Pritchard (1967), os estuários também podem ser formados por falhas tectônicas, por subsidência local e por excesso de suprimento de água doce que transporta uma grande quantidade de sedimentos, originando as rias. São encontrados em margens ativas, onde são formadas baías como, por exemplo, a de São Francisco (Califórnia–USA). As rias formam-se por elevação do continente onde estava o vale interior do rio quando este é inundado com a elevação eustática do nível relativo do mar, ocupando os espaços antes dominados por glaciares (Miranda & Castro, 2002). Esses estuários são típicos de regiões montanhosas de alta latitude.

4.1.1.2 Classificação segundo a estratificação salina

A salinidade é um fator importante para a definição de estuários, já que ocorre mistura de massas de água com salinidades diferentes nesses sistemas. Um estuário limita-se entre as zonas de salinidade que variam entre $< 0,5 - 40$. Os fatores que

dominam a distribuição da salinidade e os padrões de circulação são: a geomorfologia, o aporte de água doce e a amplitude de maré.

De acordo com o grau de estratificação salina os estuários típicos podem ser subdivididos, segundo Pritchard (1955) em: (a) Cunha Salina (Tipo A); (b) Moderadamente ou parcialmente misturado (Tipo B); (c) Verticalmente Bem misturado (Tipo C e D) (Figura 7).

a) Estuário em cunha salina

Identificado por uma corrente de água salgada junto ao fundo e uma corrente de água doce à superfície, não havendo mistura das águas. São típicos de regiões de micromarés e de lugares em que predominam condições de grande descarga fluvial.

b) Moderadamente ou parcialmente misturado

Identificados pela existência de uma corrente de água salgada junto ao fundo, e uma corrente de água doce à superfície e, entre estas, uma camada de água com características intermediárias, separadas por haloclinas bem definidas. Pertence a essa categoria a maioria dos fjords.

c) Verticalmente bem misturado

Lateralmente estratificado (Tipo C): caracterizados por salinidade decrescente de jusante para montante, sem a presença de um gradiente vertical de estratificação das águas, o qual é devido à mistura que ocorre nos estuários pouco profundos, sob a influência de fortes correntes provocadas pelas marés.

Bem misturado (Tipo D): Caracterizados por gradiente vertical salino que apresenta graus variados de mistura ou estratificação entre as camadas de água superficial e de fundo, mostrando sentidos opostos de direção da corrente.

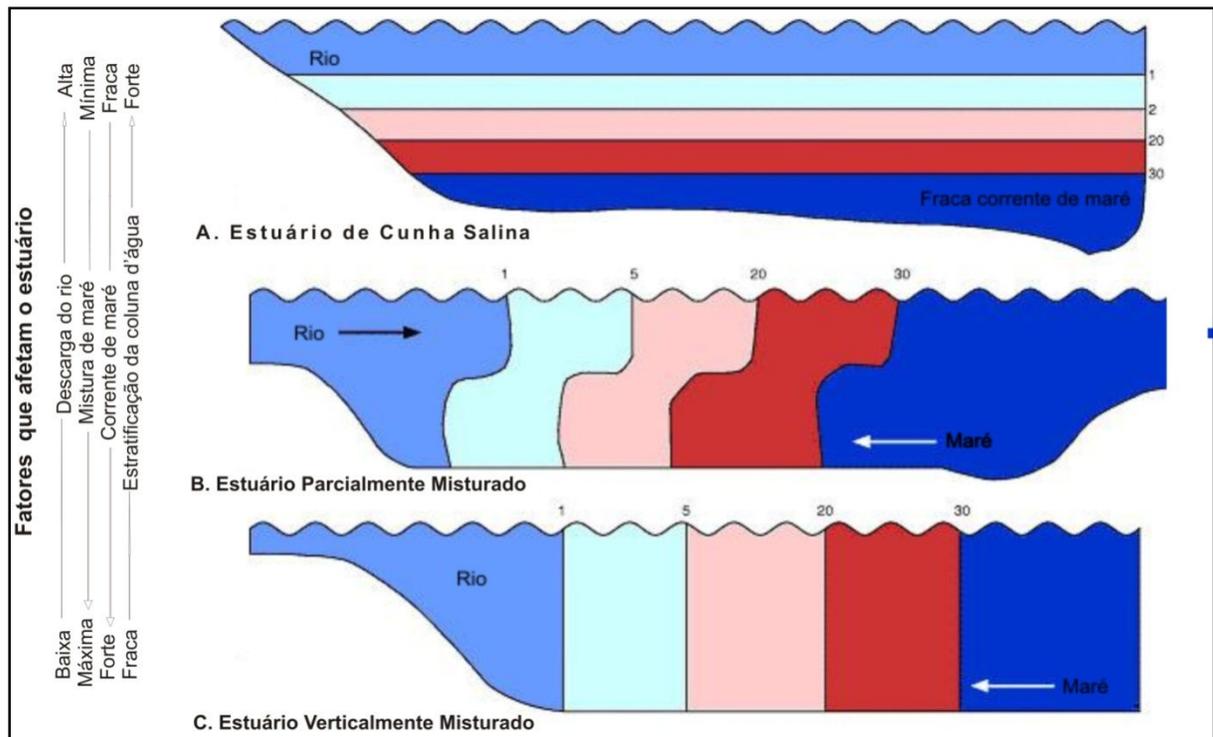


Figura 7: Representação esquemática dos tipos de estuário de acordo com o grau de estratificação salina (Adaptado de OZCOASTS, 2008, In: <http://www.ozcoasts.org.au>)

4.1.2 Características gerais dos estuários

No estuário do rio Paracauari é possível evidenciar constantes modificações em seus parâmetros hidroquímicos. Durante a amostragem e caracterização da água do estuário foram levadas em conta as seguintes considerações:

- Os estuários são ambientes tão produtivos quanto vulneráveis; são áreas naturalmente férteis, que recebem subsídios energéticos naturais e agem como filtro biogeoquímico reciclando as substâncias que chegam até ele em concentrações elevadas, antes de transferi-las ou exportá-las para a zona marinha (Chester, 1993);
- São dominados por material alóctone, dependente de entradas bióticas e abióticas, principalmente na região de entradas dos rios e oceanos;

- Constituem reservatórios de sedimentos trazidos pelos rios e também servem de abrigo para vários animais: moluscos, crustáceos, peixes, aves e mamíferos. Além disso, é utilizado como maternidade e rica fonte de alimentos para milhares de animais;
- Os estuários são a principal rota de entrada de nutrientes vindos de drenagens continentais para o ambiente costeiro. A alta produtividade e a manutenção do balanço ecológico do ambiente costeiro estão diretamente relacionadas com os nutrientes fornecidos por várias fontes, como as trocas flúvio-estuarinas e as precipitações pluviométricas (Siqueira et al. 2000, Miranda & Castro, 2002).

4.2 PARÂMETROS ABIÓTICOS DA ÁGUA ESTUARINA: DESCRIÇÃO E IMPORTÂNCIA

As variáveis abióticas: luz, temperatura e salinidade governam toda a circulação oceânica, determinam a distribuição dos organismos vivos e interligam os demais processos geológicos e biológicos. Por isso, o conhecimento destes parâmetros é de fundamental importância já que serve como um requisito básico para todos os modelos ecológicos (Costa, 1991). Além dessas variáveis, no ambiente estuarino é de extrema importância o conhecimento de: oxigênio dissolvido, pH, condutividade, material particulado em suspensão, sólidos totais dissolvidos e os nutrientes.

Temperatura (T)

A temperatura das águas estuarinas é função das condições meteorológicas e da profundidade do estuário, constituindo um fator controlador nos processos bioquímicos dos organismos, na solubilidade dos gases entre a água intersticial e coluna d'água (Cunha, 1982). As águas superficiais, em geral são aquecidas *in situ* pela radiação solar. As trocas de calor entre as águas fluviais e marinhas produzem variações de

temperatura nos estuários, envolvendo fatores como ventilação, correntes de maré, profundidade, situação geográfica do estuário, entre outros.

No ambiente estuarino, a temperatura pode variar horizontalmente e verticalmente na coluna d'água, sendo que esta distribuição é o principal fator que controla a dispersão e a atividade de animais e plantas, agindo como fatores limitantes à reprodução, ao crescimento e à distribuição de organismos (Silva, 2000; Pereira & Soares-Gomes, 2002; Schmiegelow, 2004).

Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH é a medida da atividade iônica do hidrogênio, representando o balanço entre ácidos e bases nas soluções. Pode ser considerada uma das variáveis mais importantes para a caracterização dos ambientes aquáticos, ao mesmo tempo em que pode ser uma das variáveis mais difíceis de interpretar, devido ao grande número de fatores que podem influenciá-lo (Esteves, 1998). Em contra partida, o pH apresenta o poder de influenciar tanto a composição de espécie química, como afetar a disponibilidade de nutrientes e a toxicidade de vários elementos traços em ambiente (McNeely et al. 1979). As variações de pH da água estuarina estão relacionadas às atividades fotossintética/respiração de organismos, a dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e as variações induzidas pelas marés (Baumgarten & Pozza, 2001).

As águas naturais geralmente têm pH compreendido entre 4 e 9 e são ligeiramente alcalinas devido à presença de carbonatos, bicarbonatos e metais alcalinos e alcalinos terrosos (Schafer, 1985).

Condutividade elétrica (CE)

A condutividade elétrica ou condutância específica é uma expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica, sendo esta, função das

concentrações iônicas presentes na água e da temperatura (Esteves, 1998, CETESB, 2007). É controlada, principalmente, pelo tipo de rocha onde está implantada a bacia fluvial e constitui uma das variáveis mais importantes para o ambiente aquático, pois pode fornecer informações importantes sobre o metabolismo aquático e sobre fenômenos que ocorram na sua bacia. Nas águas estuarinas, a concentração dos elementos maiores é responsável diretamente pelos valores de condutividade. Desta forma a condutividade elétrica poderá indicar possíveis impactos ambientais ocasionados por lançamentos de resíduos industriais em um curso d'água. A condutividade elétrica à 18°C varia entre 100 e 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em águas doces e em torno de 45000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em águas de mar (Custodio & Llamas, 1976).

Salinidade (Sal)

A salinidade é de fundamental importância em estudos em regiões estuarinas e costeiras, pois a mesma é função direta da propagação das ondas de maré e do volume de contribuição fluvial, além de atuar diretamente sobre a liberação e/ou remoção de elementos na coluna d'água.

De acordo com o intervalo de salinidade, é possível classificar os corpos aquosos em: água doce com salinidade menor que 0,5 as quais correspondem às águas de rios; água oligohalina com salinidade entre 0,5 e 5; mesohalina com variação entre 5 e 18; e água polihalina com variação entre 18 e 30 que correspondem as águas estuarinas; e água euhalina com salinidade maior que 30 correspondente as águas oceânicas (Figura 8) (Smayda, 1983, Kennish, 1994).

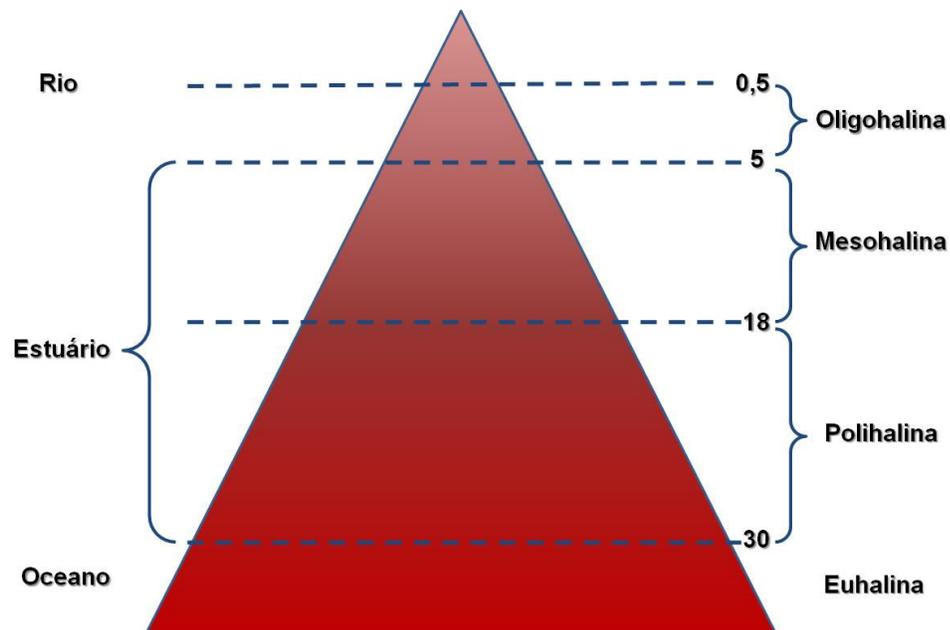


Figura 8: Salinidade típica de rios, estuários e águas costeiras

Transparência

A variação da transparência deve-se a dois fatores principais: introdução de material alóctone, elevando a quantidade de material em suspensão na água e ressuspensão do sedimento, provocada pelo vento, principalmente nos períodos em que as cotas hídricas dos sistemas aquáticos encontram-se baixas, modificando assim, sua transparência (Herry et al., 1999). Assim, a transparência medida mediante o uso do disco de Secchi é função, essencialmente da reflexão da luz na superfície do corpo d'água sendo, por isso, influenciada pelas características da luz pelas águas e dos constituintes da matéria orgânica nela dissolvida ou em suspensão (Wetzel, 1993).

Material particulado em suspensão (MPS)

O material particulado em suspensão encontrado nos estuários possui importantes funções como: controle da reatividade, transporte e impacto biológico de substâncias no ambiente aquático, agindo como ligante fundamental para os constituintes químicos presentes na coluna d'água, nos sedimentos de fundo e na

cadeia alimentar. Quando presentes em excesso na coluna d' água, podem causar a morte de animais, pois prejudicam a respiração, obstruem as estruturas de alimentação e reduzem a fotossíntese por diminuir a penetração da luz. Sufocam também os bentos e modificam a natureza de fundo ao se depositarem nos sedimentos (Clark, 2001).

Uma grande quantidade de partículas em suspensão é uma característica bastante geral nos ecossistemas estuarinos (Biggs, 1970, Eisma, 1993). Tal característica limita a qualidade da água, por estar relacionada à turbidez, a dureza, e a salinidade. Águas estuarinas são naturalmente mais ricas em material em suspensão do que as águas marinhas, devido às maiores intensidades das fontes e maior produtividade primária e secundária (Baumgarten & Pozza, 2001).

Sólidos totais dissolvidos (TDS)

Os sólidos em suspensão é um parâmetro importante de ser analisado nos estuários por duas razões: suas concentrações indicam a quantidade de luz que pode penetrar na água, e também indicam a quantidade de material não dissolvido que é transportado em suspensão pela água e pode ser eventualmente sedimentar no estuário (Sabri, 1977, Cheshire et al. 1985).

Os sólidos totais dissolvidos (TDS) são diretamente proporcionais a condutividade elétrica e a salinidade (Cheshire et al. 1985); e podem ser definidos como a soma dos teores de todo os constituintes minerais presentes na água por unidade de volume.

Oxigênio dissolvido (OD)

No ambiente estuarino, oxigênio dissolvido é um componente químico que participa dos processos bioquímicos e biológicos, como respiração, oxidação da matéria orgânica e de compostos químicos, processos metabólicos celulares indispensáveis à vida vegetal e animal (Flores Montes, 1996). Os níveis de oxigênio dissolvido têm papel

determinante na capacidade de um corpo d'água natural manter a vida aquática. Na superfície, a quantidade de oxigênio é mais elevada devido à proximidade com a atmosfera, à fotossíntese e a processos físicos (Baumgarten et al. 1996). A diminuição dos teores de oxigênio dissolvido nos ecossistemas aquáticos pode ocorrer devido a vários fatores, como decomposição da matéria orgânica, oxidação de sulfetos, processos de nitrificação e respiração dos organismos aquáticos.

A solubilidade de oxigênio na água depende de três fatores principais: temperatura, pressão e salinidade.

Formas nitrogenadas

Em relação aos nutrientes, elevadas concentrações provenientes de fontes naturais ou antrópicas são carregadas dos sistemas estuarinos para as regiões costeiras (Braga et al., 2000; Pereira Filho et al. 2001). Por exemplo, as formas nitrogenadas ocorrem naturalmente nas águas por dissolução de rochas, drenagem do solo e decomposição de plantas e animais (Jaworski et al., 1992). Além disso, os compostos de nitrogênio são de grande importância nos processos vitais de todas as plantas e animais. Dentro do ciclo do nitrogênio na biosfera, alternam-se várias formas e estados de oxidação. No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado nas seguintes formas (APHA, 1995): a) nitrogênio molecular (N_2), escapando para a atmosfera; b) nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão); c) nitrogênio amoniacal, como amônia (NH_3) e o íon amônio (NH_4^+); d) nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-).

Nos estuários onde os aportes continentais são importantes, as concentrações de nitrato podem atingir até várias dezenas de μM (Aminot & Chaussepied, 1983, Baumgarten et al. 1996). A concentração média de nitrogênio total dissolvido, em sistemas fluviais não poluídos é de aproximadamente $375 \mu g/L$, das quais, $115 \mu g/L$ corresponde a espécies inorgânicas como o nitrato e $226 \mu g/L$ corresponde ao nitrogênio orgânico dissolvido (Meybeck, 1981).

Formas fosfatadas

O fósforo pode ser encontrado na forma dissolvida e particulada, tanto na forma orgânica quanto inorgânica. Em geral, o fósforo na forma inorgânica ou ortofosfatos solúveis, na faixa de pH das águas naturais, encontra-se nas formas $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ (1%), HPO_4^{2-} (89%) e PO_4^{3-} (10%) (Chester, 1993). A concentração de fósforo total dissolvido em águas fluviais é de aproximadamente 28µg/L, enquanto que a de particulado total é de 530 µg/L, sendo 320 µg/L correspondente a forma inorgânica e 210 µg/L na forma orgânica.

O fosfato pode ocorrer em solução, partículas ou detritos, ou nos corpos de organismos aquáticos (APHA, 1992). A quantidade de fosfato de fonte natural presente em ecossistemas aquáticos continentais depende diretamente do conteúdo de fosfato presente nos minerais (como apatita e ortofosfatos de alumínio) das rochas da bacia de drenagem. O fosfato liberado da rocha por intemperismo é carregado pelas águas de escoamento superficial e atinge os diferentes ecossistemas aquáticos. Outros fatores naturais que permitem o aporte de fosfato podem ser apontados, a saber, o material particulado presente na atmosfera e o fosfato resultante da decomposição de organismos de origem alóctone (Esteves, 1998, Jaworski et al. 1992, Nash & Murdoch, 1997; Knox et al. 2006).

Silicato

O silício apresenta-se na forma de ácido ortossilícico (H_4SiO_4) no sistema aquático. Sua principal fonte é o intemperismo de minerais de silicato e aluminossilicatos. A média global das concentrações de silicato dissolvido é de aproximadamente 346,4 µM/L (Chester, 1993).

Nos ambientes fluviais, aproximadamente 29% da sílica dissolvida é removida por mecanismos biológicos. Dentro dos estuários, toda a sílica é regenerada e lançada novamente na coluna d'água. Com isso, o fluxo de sílica fora do estuário é virtualmente

semelhante ao fluxo fluvial, apresentando baixas concentrações de sílica sendo depositada como sedimento (Chester, 1993).

4.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS DA BACIA AMAZÔNICA

Sioli (1984), baseado na relação entre as propriedades ópticas e as físicas, químicas e biológicas expressas na carga sólida e dissolvidas, propôs uma classificação geral das águas da bacia amazônica, dividindo-as em: rios de água branca, água clara e água preta. A distinção entre as águas na bacia depende das formações geológicas da região e das variações das características químicas e biológicas, as quais estão relacionadas ao período hidrológico (Junk, 1983; Junk & Furch, 1984).

Os rios de águas brancas, como o Amazonas, o Madeira e o Purus, por exemplo, têm suas nascentes localizadas nas regiões andinas e pré-andinas. Nessas áreas os processos de erosão são intensos conferindo aos rios que nascem nesta região uma coloração branca, devido às elevadas cargas de sedimentos em suspensão ricos em sais minerais. Além disso, esses rios apresentam pH próximo ao neutro (variando de 6,0 a 7,0) devido ao bicarbonato diluído na água que atua como tampão e aos elevados índices de condutância específica.

Os escudos pré-cambrianos do Brasil Central e das Guianas dão origem aos rios de águas claras e águas pretas, respectivamente. Nestas regiões de relevo suave e formação geológica antiga, os processos de erosão não são intensos, originando solos pobres em nutrientes. Conseqüentemente, os rios são transparentes (transparência variando entre 1,5 a 2,5 m) devido à baixa carga de sedimentos. Muitos rios que nascem nessas áreas possuem coloração preta, em função do elevado teor de substâncias húmicas, geralmente associadas a solos podzólicos. Essas águas são extremamente ácidas, apresentando pH variando de 3,0 a 6,0; e são consideradas as águas mais pobres do mundo. Exemplo dos rios de águas pretas o rio Negro; e de águas claras o rio Tapajós e o Tocantins (Sioli & Klinge, 1962, Sioli, 1968).

De modo geral os princípios básicos que descrevem as condições do ecossistema Amazônico são: escassez geral de nutrientes no solo; reciclagem contínua de nutrientes na floresta; grande diversidade da biota e reciclagem de grande parte da água de chuva na própria bacia Amazônica.

As características físico-químicas das águas que percorrem a bacia amazônica variam amplamente, em função da origem da água, do tipo de solo que drenam e das condições climáticas (Barbosa et al., 2003).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades desenvolvidas foram subdivididas nas seguintes etapas: pesquisa bibliográfica, trabalhos de campo, laboratório, tratamento estatístico dos dados e integração dos resultados.

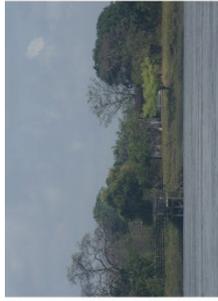
5.1 AMOSTRAGEM DE ÁGUA

A hidroquímica do estuário do rio Paracauari, assim como a dos demais estuários, está sujeita a mudanças de origens físicas, químicas e biológicas. Assim sendo, a frequência amostral depende da intensidade das variações espaço-temporais da hidrodinâmica local, associada às correntes e as marés (Baumgarten et al. 1996).

No estuário do rio Paracauari foram realizadas amostragens de água na coluna d'água ao longo do rio e numa estação fixa, localizada na foz do rio. Foram escolhidos quinze pontos de coletas ao longo do rio Paracauari, distribuídos a cada 1,5km (Figura 9), sendo que o ponto 15 (P15) está localizado na zona de rio (ZR), com influência fluvial e salinidade próxima a zero, mas ainda sujeita à influência da maré; e os demais localizados na zona de mistura (ZM), onde ocorre a mistura da água doce da drenagem continental com a água do mar; de acordo com a definição de Kjerfve (1987). Assim, o ponto 1 (P1) foi escolhido para representar os pontos com maiores influencias das águas oceânicas, ou águas salobras da baía do Marajó e o ponto 15 (P15) foi escolhido para representar os pontos com maiores influencias das águas continentais. Entretanto, durante a última campanha, foi necessário adicionar seis pontos de coleta após o P15, totalizando 21 pontos de coleta, para alcançar um dos objetivos do trabalho. Nesses pontos adicionais situados na parte interna do estuário, foram analisados somente os parâmetros de salinidade, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos. Os pontos de amostragem foram posicionados com um receptor GPS (Global Position System).



Ponto 4 - Fazenda Sossego (Desativada)



Ponto 5 - Fazenda Alacilândia



Ponto 6 - Fazenda Granja Dona Zeida



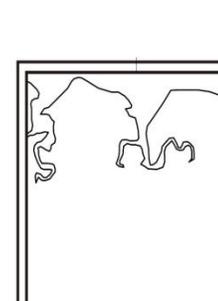
Ponto 7 - Igarapé



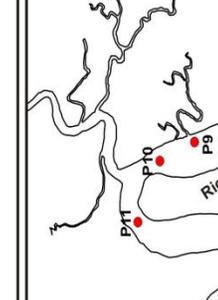
Ponto 8 - Floresta de mangue



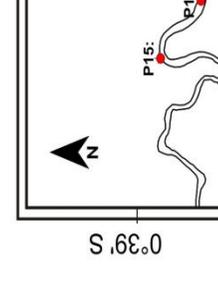
Ponto 3 - Matadouro de Soure



Ponto 1 - Farol de Soure



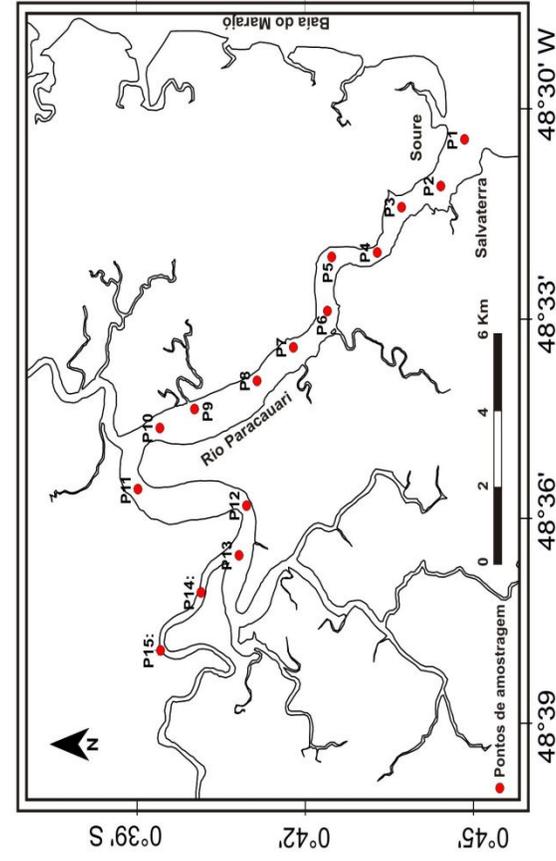
Ponto 9 - Igarapé



Ponto 10 - Fazenda Redenção (várzea)



Ponto 11 - Fazenda



Ponto 15 - Fazenda Alegre



Ponto 14 - Fazenda do Juarez (coqueiral)



Ponto 13 - Rio das Manauzeiras



Ponto 12 - Floresta de manauze

Figura 9: Pontos de amostragem no estuário do rio Paracauari

As coletas hidrológicas foram realizadas ao longo de um ciclo hidrológico, totalizando três (03) campanhas, levando-se em consideração a sazonalidade climática da região e a influência da maré. Todas as campanhas foram realizadas durante a maré de sizígia, sendo: primeira campanha no período chuvoso em 21 e 22 de março de 2008 coincidindo com o máximo de precipitação pluviométrica e o mínimo de insolação; a segunda ocorreu em 18 e 19 de junho de 2008 coincidindo com o período de transição entre o período chuvoso e menos chuvoso; e a terceira no período menos chuvoso em 15 e 16 de setembro de 2008 representando o mínimo de precipitação.

A amostragem na coluna d'água ao longo do estuário do rio Paracauari foi realizada no sentido jusante-montante na maré vazante. Na estação fixa, a amostragem na coluna d'água ocorreu durante meio ciclo de maré, sendo realizadas coletas a cada hora.

Em cada ponto de coleta foi realizada, primeiramente, a medição da transparência da água utilizando um disco de Secchi amarrado a um cabo batimétrico com graduação em centímetros (Figura 10a). Posteriormente foi realizada a coleta de água superficial com o auxílio de uma garrafa oceanográfica do tipo Van Dorn com capacidade de 2,5 litros de água (Figura 10b). Essa coleta foi realizada 30 cm abaixo da superfície para evitar qualquer tipo de contaminação pelo filme de superfície. A coleta da água de fundo foi realizada a uma profundidade de 10 m com uma garrafa também do tipo Van Dorn amarrada a um cabo batimétrico com intervalos de 1 m (Figura 10c).

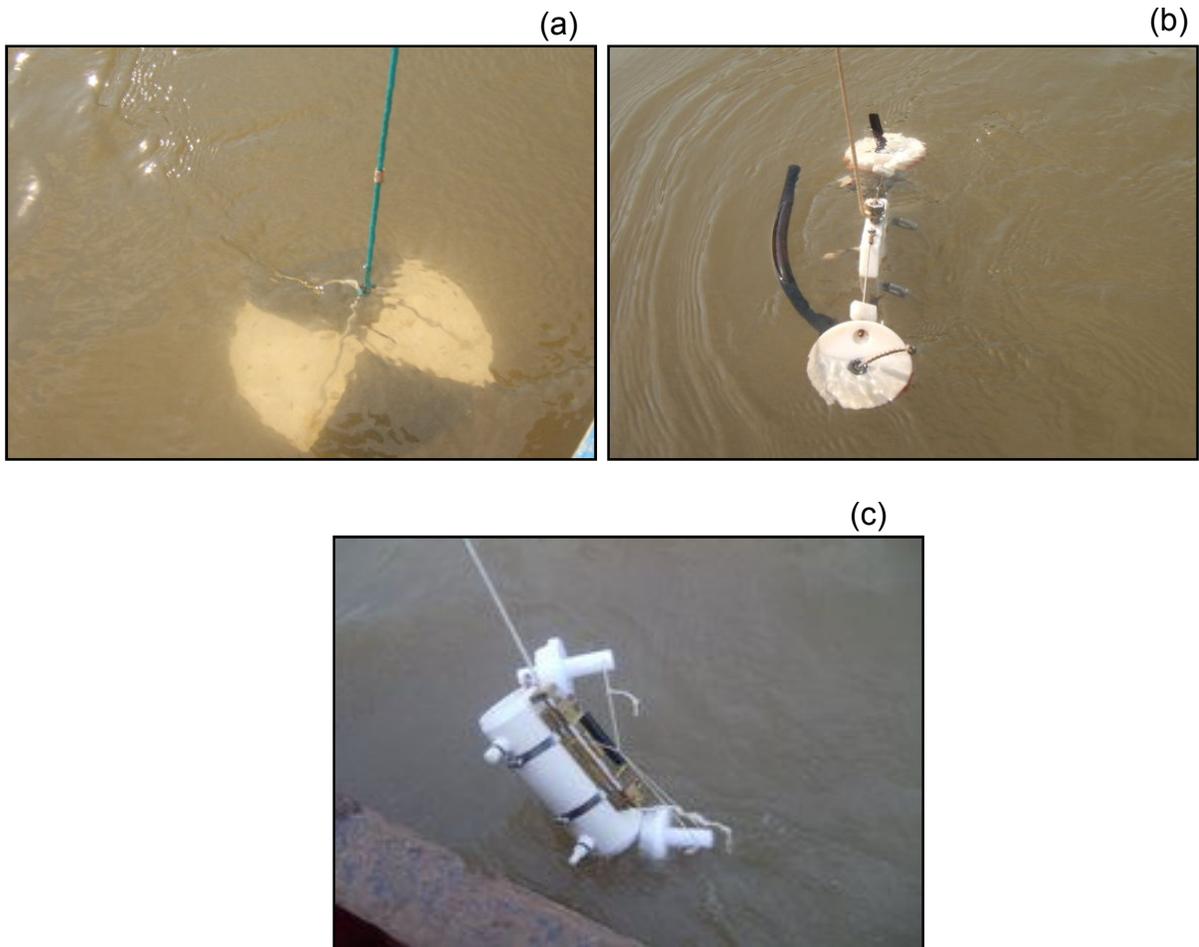


Figura 10: a) Disco de Secchi; b) Garrafa de Van Dorn para coleta de água superficial; c) Garrafa de Van Dorn para coleta de água de fundo.

Aproximadamente 150 ml de ambas as amostras (superficial e fundo) de água foram transferidas, sem borbulhar, para um frasco âmbar e, imediatamente, fixada com 1 ml dos reagentes R_1 e R_2 (sulfato de manganês 2^+ e iodeto alcalino de potássio, respectivamente). Essas amostras foram mantidas no escuro e na temperatura ambiente para posterior análise de oxigênio dissolvido. Em seguida, foram realizadas análises *in situ* de temperatura, pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e salinidade através de um multianalisador da marca HANNA, modelo 9828.

Posteriormente, para a análise dos demais parâmetros, as amostras foram preservadas e mantidas em refrigeração até a chegada ao Laboratório de Hidroquímica da Universidade Federal do Pará.

Durante o período de amostragem foram realizadas medições do nível de água da maré, sendo utilizada uma régua graduada instalada no trapiche do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA em Soure. Os dados meteorológicos (temperatura do ar e umidade relativa do ar), para o período compreendido entre julho de 2007 e setembro de 2008, foram obtidos junto à estação meteorológica de Soure, escolhida devido à sua proximidade com a área de estudo.

5.2 VARIÁVEIS HIDROQUÍMICAS DETERMINADAS EM LABORATÓRIO

5.2.1 Oxigênio dissolvido

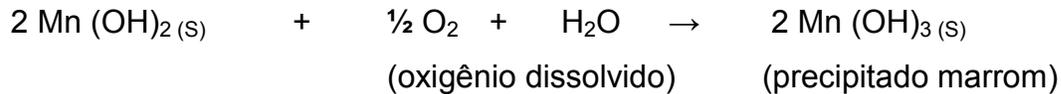
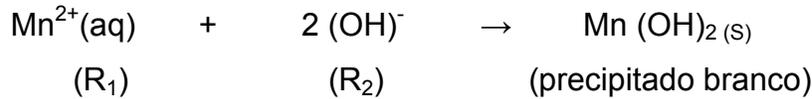
O oxigênio dissolvido das águas estuarinas do Paracauari foi determinado seguindo o método de Strickland e Parsons (1972) descrito em Baumgarten; Rocha; Niencheski (1996), com modificação da azida sódica, devido a possíveis interferentes como ferro ferroso, sulfetos, entre outros.

O princípio da determinação química está baseado no método iodométrico clássico de Winkler (volumetria de oxidação e redução): soluções de manganês divalente (Mn^{2+}) (codificadas por R_1) e de iodeto alcalino de potássio (R_2) são adicionadas à amostra. O oxigênio molecular dissolvido oxida uma quantidade equivalente de hidróxido de manganês 2^+ (precipitado branco) a hidróxido de manganês 3^+ (precipitado marrom). Quando o precipitado marrom é dissolvido com ácido, na presença de iodeto, o hidróxido de manganês 2^+ oxidado retorna ao estado reduzido de manganês 2^+ solúvel, e é liberado iodo em quantidade equivalente ao oxigênio original. O iodo formado é então titulado com solução padrão de tiosulfato de sódio usando como indicador a suspensão de amido.

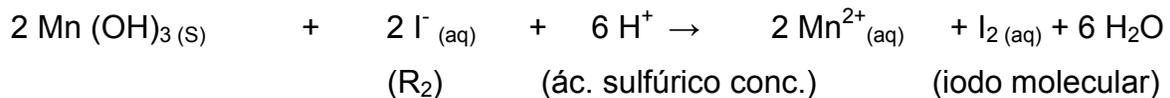
Segundo Aminot e Chaussepied (1983) deve ser usada a azida de sódio (NaN_3) nas análises de oxigênio quando as amostras possuam mais de $3,5 \mu M$ de nitritos, ou contenham muitos sólidos em suspensão, ou substâncias orgânicas oxidáveis em meio básico ou, ainda, em amostras que reagem com o iodo em meio ácido.

Reações:

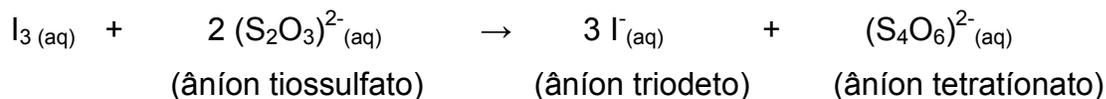
Fixação:



Acidificação:



Titulação:



Obs.: o iodo molecular na presença de excesso de iodeto forma complexo tri-iodeto (I₃⁻).

5.2.2 Material particulado em suspensão

O material particulado em suspensão presente nas águas estuarinas do Paracauari foi determinado por gravimetria de volatilização, segundo a metodologia de Strickland & Parsons (1972) com modificações descritas em Baumgarten et al. (1996).

No laboratório, cerca de 300 ml das amostras de água foram filtradas através de uma bomba a vácuo acoplada ao sistema de filtração Millipore com filtros de fibra de vidro (GF/F Whatman) 0,45 µm e 47 mm de diâmetro previamente pesados (Peso 1).

Após esse processo, o filtro contendo as suspensões foi transferido cuidadosamente, com uma pinça, para uma placa de Petry e foi seco a 30°C por duas horas em uma estufa. Logo após esse processo, os filtros foram transferidos para um dessecador e depois de no mínimo duas horas, foram pesados novamente (Peso 2). A diferença entre o peso do filtro antes e após a filtração (Peso 1 e Peso 2, respectivamente) forneceu o peso do material particulado em suspensão para um exato volume filtrado.

5.2.3 Análises dos nutrientes dissolvidos inorgânicos

Para a realização da análise dos nutrientes dissolvidos (fosfato, nitrato, nitrito, N-amoniaco e silicato) as amostras foram filtradas, e logo após determinados por espectrofotometria na faixa de luz visível, utilizando o espectrofotômetro HACH DR-2010.

5.2.3.1 Nitrato Dissolvido

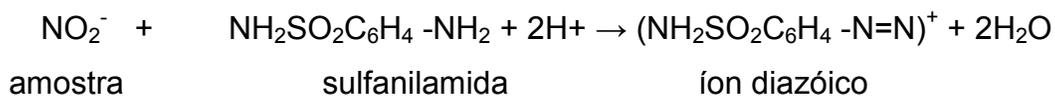
O nitrato foi determinado pelo método desenvolvido por Wood et al. (1967) e adaptado por Aminot & Chaussepied (1983), com a modificação do uso do NH_4Cl , ao invés do EDTA, descrito em Baumgarten et al. (1996).

Esse método fundamenta-se na dosagem dos íons nitritos (reação de Griess) obtidos por redução quantitativa (maior de 90%) dos íons nitratos presentes na amostra. Logo, foi medida a soma das concentrações dos íons nitritos e nitratos. O complexo colorido foi lido num comprimento de onda de 543 nm. Deduz-se a concentração em nitrato, subtraindo-se o nitrito original da amostra da concentração de nitrito total dosado (somatório destes NO_2^- com o NO_3^- reduzido).

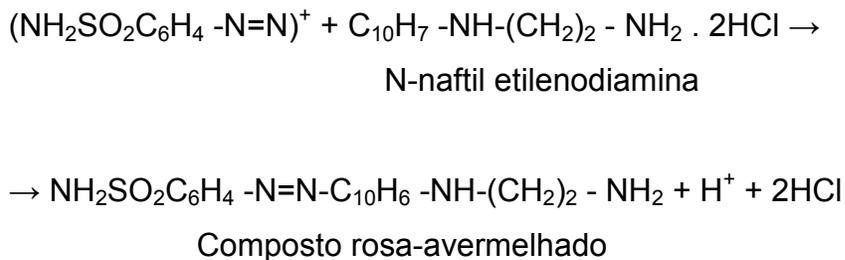
5.2.3.2 Nitrito

O método de determinação de nitrito fundamenta-se na Reação de Griess e é aplicado à água do mar por Bendschneider & Robinson (1952) e descrito por Aminot & Chaussepied (1983) e em Baumgarten et al. (1996).

Esse método baseia-se nos íons nitrito que formam um íon diazótico com a sulfanilamida (R1) em meio ácido ($\text{pH} < 2$), seguindo a reação:



Depois, o íon diazótico reage com o N-naftil etilendiamina (R2) para formar um composto colorido, cuja absorção máxima é a 543 nm:



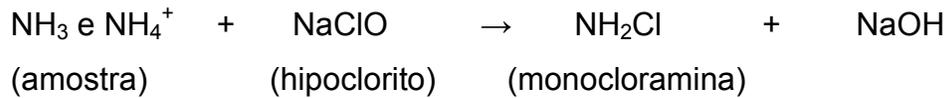
5.2.3.3 N-amoniaco

O método utilizado para determinação da N-amoniaco foi o Método de Koroleff (1969) descrito em Baumgarten et al. (1996).

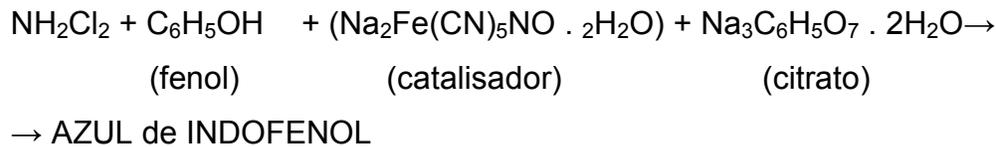
Esse método tem como princípio medir a totalidade do nitrogênio amoniaco, seja $\text{N-NH}_3 + \text{N-NH}_4^+$.

A reação dá-se em duas etapas:

a) o nitrogênio amoniaco da amostra reage com o hipoclorito de sódio, em meio alcalino (pH entre 10,8 a 11,5) para formar a monocloramina.



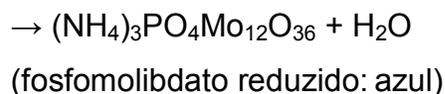
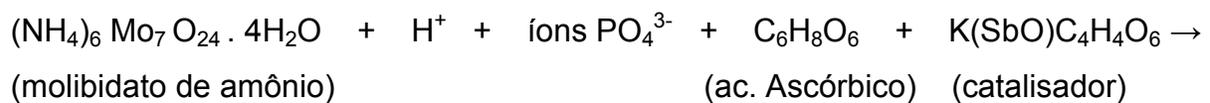
b) A monocloramina reage com o fenol, na presença de um excesso de hipoclorito e também do nitroprussiato de sódio (catalisador), formando o azul de indofenol, cuja absorção máxima é a 630 nm. A fim de evitar a precipitação, nesse meio alcalino, dos íons alcalinos terrosos (Ca, Si, Ba, Mg) da água, adicionar citrato trissódico (complexante), evitando a interferência quanto a turbidez, que poderia ser causada pela precipitação destes íons.



5.2.3.4 Fosfato (orto) dissolvido

A determinação do fosfato seguiu a metodologia de Murphy & Riley (1962), adaptado por Aminot & Chaussepied (1983) e descrito em Baumgarten et al. (1996).

O princípio da determinação deste método dosa o fósforo sob as suas formas de íons ortofosfatos, os quais reagem com o molibdato de amônio em meio ácido, formando o complexo fosfomolibdato, que é reduzido pelo ácido ascórbico, resultando num composto azul, cuja absorção máxima é a 885 nm. Esta redução é catalisada pelo tartarato de antimônio e potássio. Os polifosfatos e o fósforo orgânico não são dosados por este método.

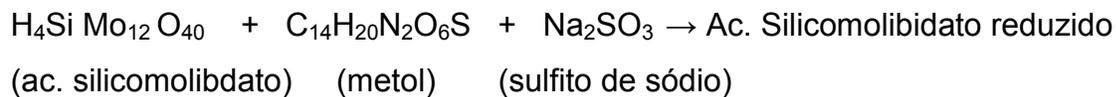
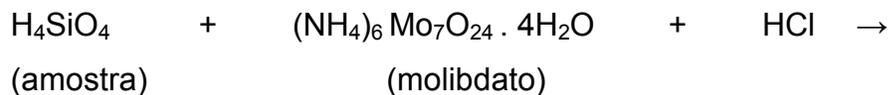


5.2.3.5 Silício reativo dissolvido

Para determinação do silício foi utilizada a metodologia de Mullin e Riley (1955), adaptado por Aminot & Chaussepied (1983) e descrito em Baumgarten et al. (1996).

O princípio dessa determinação é a reação do silício dissolvido na amostra com molibdato de amônio em meio ácido (R_1), resultando na formação do complexo silicomolibídico (amarelo), o qual pela adição de uma mistura redutora de metol (sulfato de p-metilamino fenol) e de sulfito de sódio é reduzido ao azul de silicomolibdato, cuja absorção máxima é a 810 nm.

A expressão "silício reativo" é devido a que somente as formas MONO e DÍMERAS do H_4SiO_4 reagem com o molibdato nas condições da dosagem, o que não acontece com as formas polimerizadas (Aminot & Chaussepied, 1983).



Adicionou-se, ainda, o ácido oxálico ($(COOH)_2 \cdot 2H_2O$) na mistura redutora para conter a interferência do fosfato da amostra na reação de formação do composto colorido.

5.3 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Para melhor apresentação dos resultados, Os dados foram organizados em planilhas do programa Excel e, posteriormente, foram confeccionados gráficos para melhor visualizar a distribuição espacial e temporal dos parâmetros abióticos medidos no estuário do rio Paracauari.

Os testes estatísticos utilizados no tratamento dos resultados foram: Análise de Agrupamento e Correlação de Spearman.

Antes da escolha do teste estatístico a ser usado, aplicou-se o teste de Análise de Agrupamentos, para verificar a semelhança entre os três períodos das campanhas de coleta no estuário Paracauari.

A técnica classificatória multivariada da análise de agrupamentos pode ser utilizada quando se deseja explorar as similaridades entre indivíduos ou entre variáveis, definindo-os em grupos, sendo no primeiro caso todas as variáveis medidas em cada indivíduo e, no segundo caso, todos os indivíduos nas quais foram feitas as mesmas mensurações. Segundo esse método, procura-se por agrupamentos homogêneos de itens representados por pontos num espaço dimensional em um número conveniente de grupos, relacionando-os através de coeficientes de similaridades ou de correspondências (Landim, 2000).

Em seguida, utilizou-se a correlação de Spearman que é uma técnica não paramétrica usada para avaliar o grau de relacionamento entre observações emparelhadas de duas variáveis, quando os dados se dispõem em postos. Esta correlação foi aplicada nos resultados dos parâmetros obtidos ao longo do estuário do rio Paracauari, para todos os períodos amostrados (Stevenson, 1981).

Todos os testes estatísticos foram manipulados através do programa Statistica 6.0.

Na figura 11 é mostrado o fluxograma com as estratégias de amostragem e métodos analíticos adotado neste trabalho.

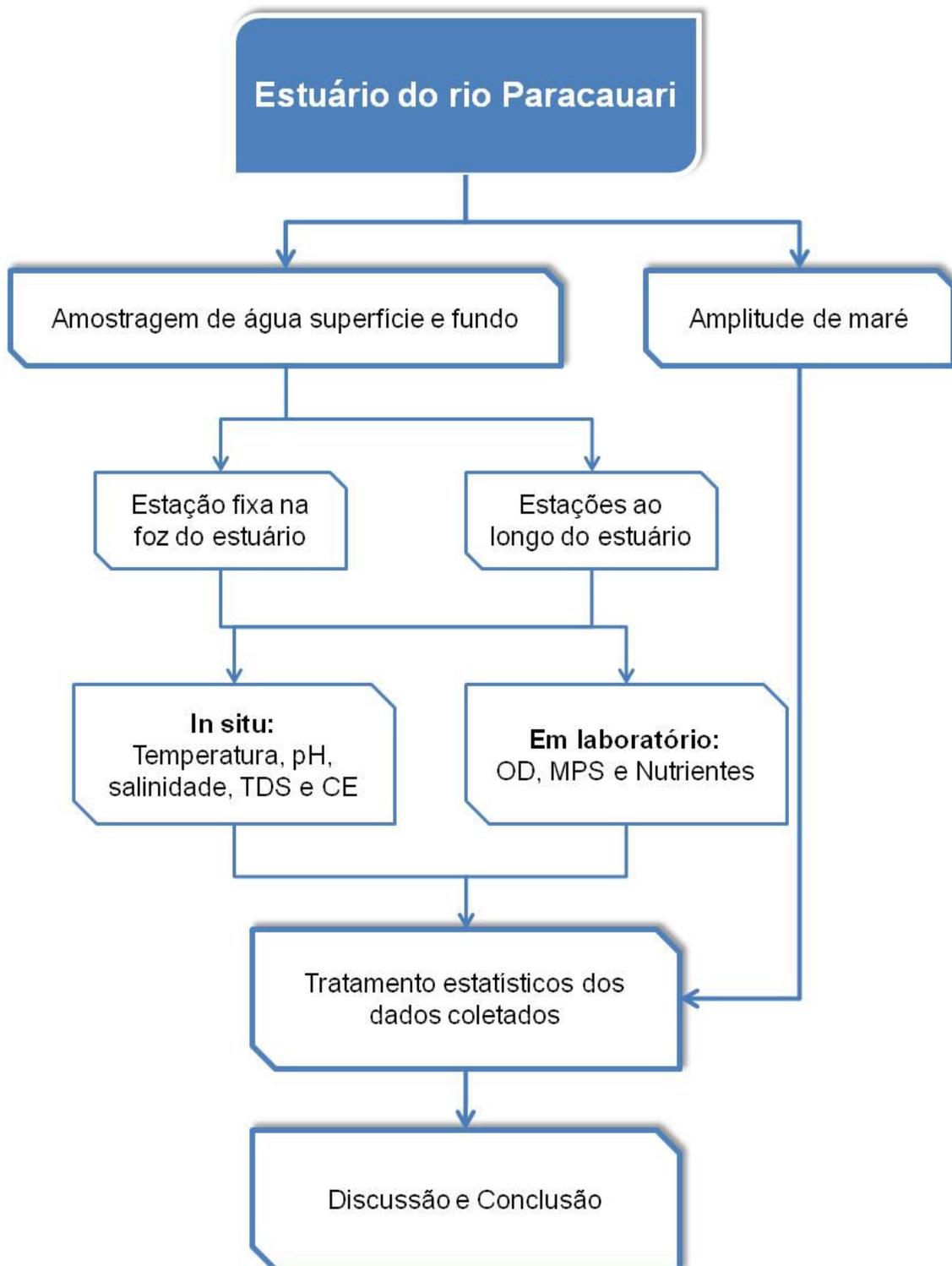


Figura 11: Estratégias de amostragem e métodos analíticos adotados (consultar texto para abreviaturas).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as campanhas foram realizadas sob condições de maré de sizígia, com amplitudes oscilando entre 1,20 a 4,70 m (período chuvoso), 1,38 a 4,25 m (período intermediário) e 1,30 a 4,80 m (período menos chuvoso) (Figura 12). Para o estuário do rio Paracauari, não existem dados das variações diárias do nível de maré, por isso, foi necessário realizar a medição da amplitude de maré, visando conhecer os horários da preamar e baixa-mar durante a realização das coletas. Entretanto, o nível de referência da maré não foi corrigido com o zero hidrográfico da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN).

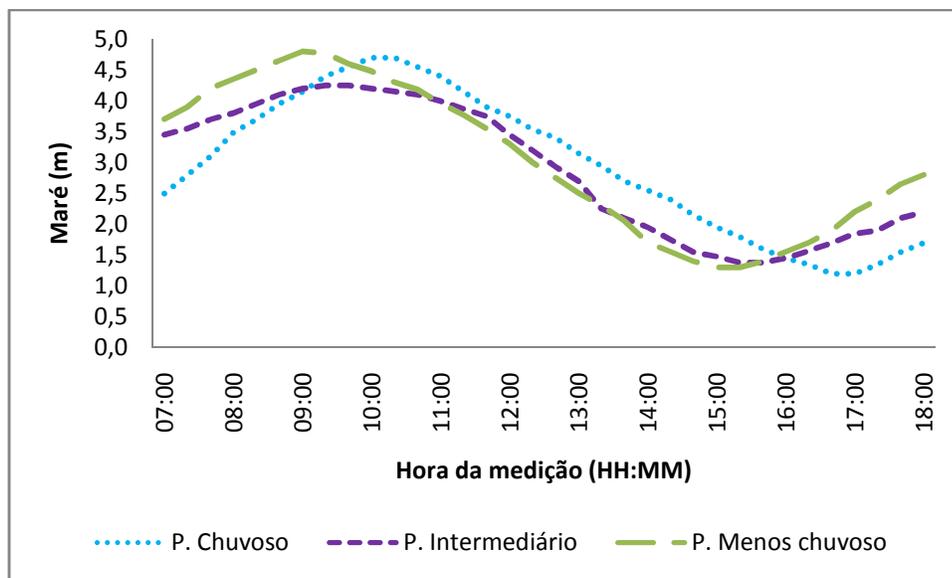


Figura 12: Curva da maré durante o período de amostragem no estuário do rio Paracauari

Sendo a chuva o principal agente regulador dos cursos de água, supõe-se que ela seja também uma importante variável a ser considerada em estudos envolvendo a qualidade da água de rios e distributários (Silva et al. 2007). É importante lembrar que a variação da temperatura, a qual resulta na variação das taxas de evaporação (McCarthy et al. 2001) e, conseqüentemente nos índices de retenção de água na atmosfera, é o fator que promove variações nos índices pluviométricos e

posteriormente, influencia o nível e a vazão dos rios e a velocidade de fluxo e descarga (Prathumratana et al. 2008), além de influenciar as variáveis físico-químicas.

Em relação aos dados de pluviometria local, estes se mostraram acima da média histórica da região durante a 1ª campanha (março de 2008), período chuvoso (660 mm), e durante a 2ª campanha (junho de 2008), período intermediário (260 mm); porém, apresentou-se abaixo durante a 3ª campanha (setembro de 2008) correspondente ao período menos chuvoso (10 mm), segundo os registros das médias mensais dos índices pluviométricos medidos na estação meteorológica do município de Soure (Figura 13). É importante frisar que, segundo os dados da normal climatológica para o município de Soure – PA disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o mês correspondente ao período menos chuvoso da região é outubro, entretanto, no ano de 2008, o mês com menores índices de precipitação pluviométrica foi novembro (0 mm).

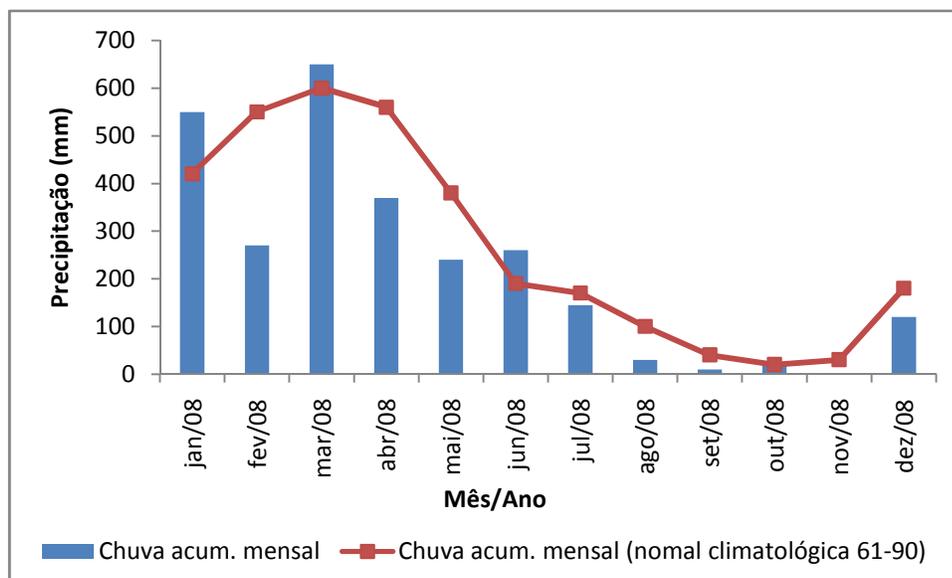


Figura 13: Precipitação pluviométrica para os meses de coleta, com a média histórica mensal da precipitação pluviométrica (mm) obtida pela estação meteorológica de Soure – PA (adaptado de INMET, 2008. In: www.inmet.gob.br).

Observou-se na estação fixa e ao longo do rio, em geral, que os parâmetros abióticos analisados tiveram as suas concentrações controladas tanto pela variação de maré quanto pelas mudanças em função da sazonalidade.

É importante ressaltar que o intervalo amostral utilizado neste trabalho, viável sob o ponto de vista estratégico de campo e laboratorial, favoreceu a detecção de padrões sazonais, porém, a não observância de determinadas mudanças em algumas variáveis que ocorrem ao longo do ciclo hidrológico em menor escala de tempo.

Os resultados analíticos referentes à amostragem realizada durante este trabalho no estuário do rio Paracauari estão apresentados na Tabela 2 (Anexo A).

6.1 VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS AO LONGO DO ESTUÁRIO DO RIO PARACAUARI

6.1.1 **Temperatura da água**

A distribuição espacial da temperatura na coluna d'água do estuário do rio Paracauari teve comportamento semelhante nos três períodos, apresentando médias de 28,34°C no período chuvoso, 28,84°C no intermediário e de 28,85°C no menos chuvoso (Figura 14). Este padrão de distribuição da temperatura é bastante regular e revela a estabilidade térmica, típica de regiões de baixa latitude. Apesar da homogeneidade, observa-se que a temperatura das águas do estuário do rio Paracauari foi maior em setembro (período menos chuvoso).

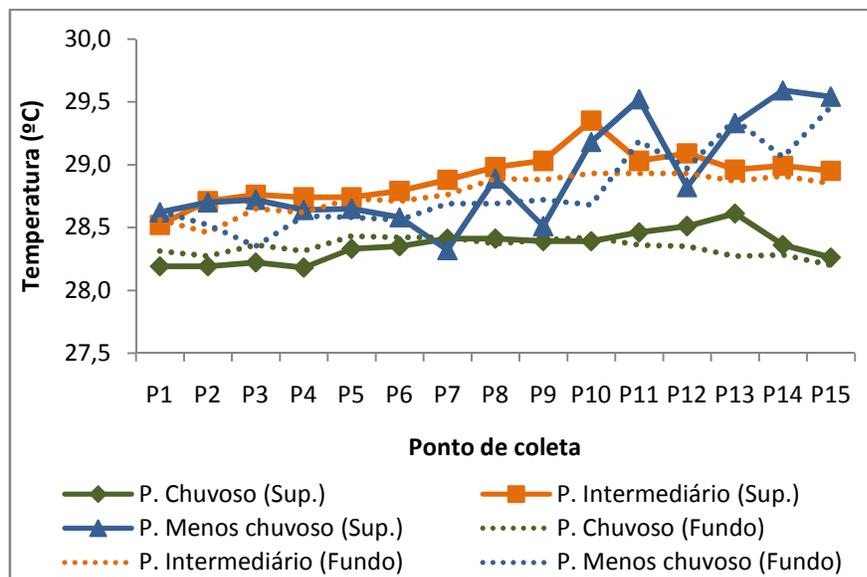


Figura 14: Variação espacial e temporal da temperatura na coluna d'água (superfície e fundo) do estuário do rio Paracauari no período chuvoso, intermediário e menos chuvoso P1 – foz; P15 – montante

Durante a amostragem de água na coluna d'água ao longo do rio Paracauari observa-se um gradiente de temperatura crescente da foz em direção à montante do rio, provavelmente devido ao horário de coleta de cada ponto. Todas as campanhas iniciaram-se no ponto 1 (P1) na foz, por volta das 9:00h e terminaram no ponto 15 (P15) a montante do rio, entre 13:00 e 14:00 h. Assim, o aumento na temperatura da água é esperado devido à maior incidência solar ao longo do período de coleta.

No estuário do rio Paracauari não foram verificadas inversões térmicas nos períodos estudados. A variação da temperatura média ao longo do estuário entre o período menos chuvoso e chuvoso foi equivalente a 1,5°C. Essa variação de temperatura na coluna d'água em ambos os períodos indicam que há ausência de estratificação térmica, possivelmente devido ao grande volume de água descarregada, à grande turbulência causada pelo vento e pelas correntes de maré (Santos et al. 1986).

Outros trabalhos realizados nos estuários paraenses corroboram com os resultados deste trabalho, tais como: Cohen (1998) observou médias de temperatura igual a 27,62°C durante os meses de janeiro e junho de 1997 nas águas estuarinas

que inundam o manguezal de Bragança - PA; e Pereira (2006), em seu estudo realizado no estuário do rio Curuçá, observou médias variando entre 26°C e 30°C.

Adicionalmente, Bradley & Philip (1999) ao estudarem estuários localizados na região tropical (estuário de Jardine, Annan e Daintree, na Austrália), afirmaram que a temperatura da água nesses estuários varia normalmente entre 24 e 30°C e apresentam uma variação com o gradiente de salinidade, particularmente durante o período menos chuvoso, podendo aumentar a temperatura em até 4°C. Essa variação pode estar relacionada à combinação da direta radiação solar na coluna d'água e indireta transferência de calor pelas áreas intersticiais.

6.1.2 pH

De acordo com Kleerekoper (1990), o pH das águas naturais varia entre 3 e 10, sendo bastante raros os valores abaixo de 6 e acima de 9. No estuário do rio Paracauari os valores de pH apresentaram variações tanto longitudinais quanto sazonais, mas não apresentaram variações consideráveis na coluna d'água (superfície e fundo), sendo os valores médios de 5,87 no período chuvoso, 6,77 no intermediário e 7,37 no menos chuvoso (Figura 15).

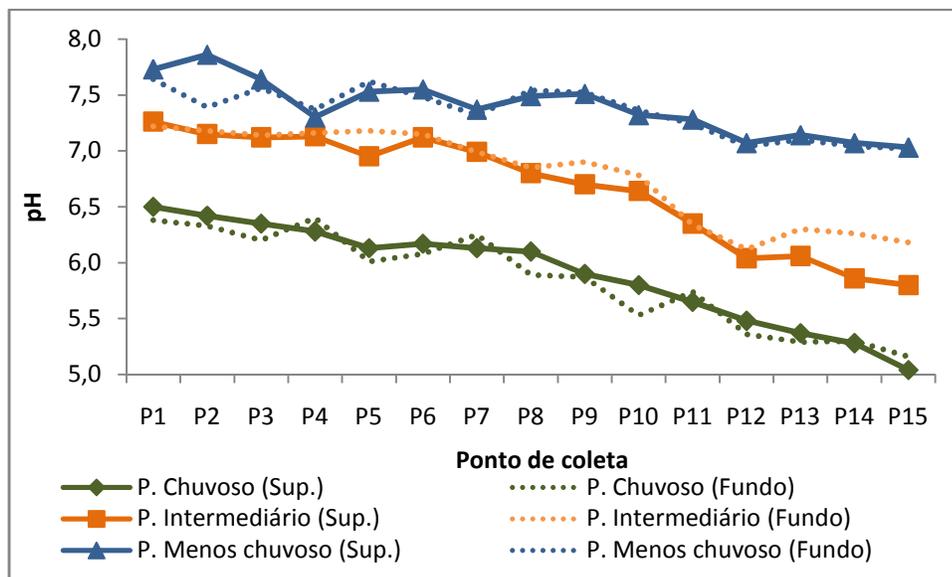


Figura 15: Variação espacial e temporal do pH na coluna d'água do estuário do rio Paracauari no período chuvoso, intermediário e menos chuvoso
P1 – foz; P15 – montante

Durante o período chuvoso, o pH ácido atingiu o mínimo de 5,04, a montante do rio (P15), e o máximo 6,50 na foz do rio Paracauari (P1) (Figura 16a). Já no período intermediário, o pH variou de ácido a básico ao longo do rio, sendo o mínimo de 5,80 também observado a montante e o máximo de 7,26 na foz (Figura 16b).

Segundo Maier (1987) a diminuição nos valores de pH pode estar associada a um aumento no teor de matéria orgânica que é lixiviada para os rios durante os meses chuvosos. Já que o processo de decomposição da matéria orgânica reduz o pH pelo aumento da concentração de gás carbônico que, ao dissolver-se na água, forma o ácido carbônico. Tal fato tem como consequência a diminuição na quantidade de oxigênio dissolvido disponível na água.

Entretanto, no período menos chuvoso o pH apresentou-se alcalino, com o mínimo (7,03) também a montante e o máximo (7,86) na foz (Figura 16c). Essa elevação nos valores de pH durante o período menos chuvoso pode está associada à penetração de águas oceânicas, as quais possuem pH naturalmente alcalino, em torno de 8,0.

Um comportamento similar da variação do pH ao longo do rio Paracauari pode ser observado durante as três campanhas realizadas em diferentes períodos sazonais. Sendo os menores valores evidenciados nos pontos localizados a montante e os maiores valores a jusante. Assim, os valores de pH do estuário do rio Paracauari apresentaram uma faixa de pH ácida devido à contribuição fluvial e outra alcalina em decorrência da contribuição marinha.

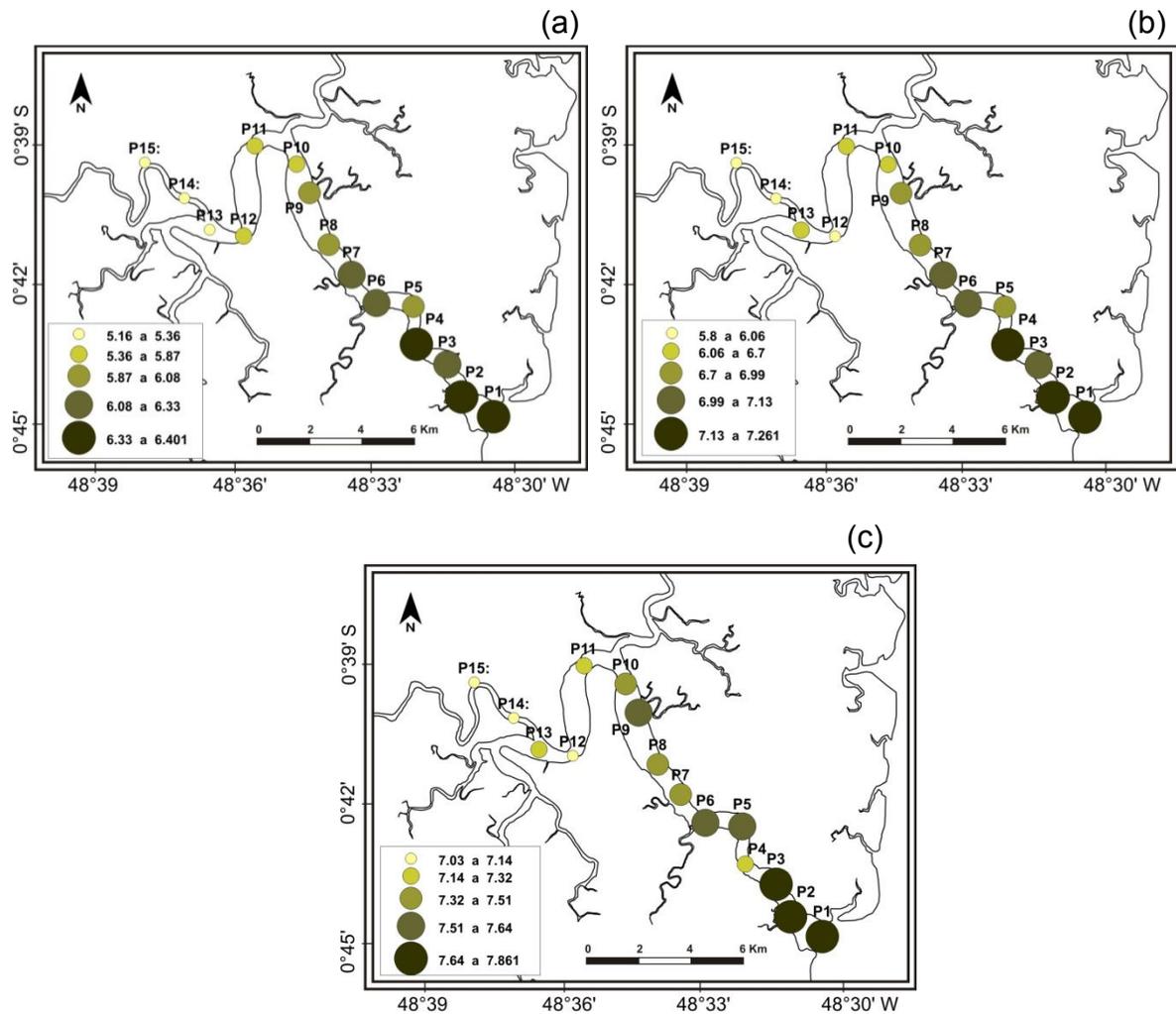


Figura 16: Variação sazonal e longitudinal do pH no estuário do rio Paracauari: a) Período chuvoso; b) Período intermediário; c) Período menos chuvoso

Essa variação de pH é muito observada nas águas dos rios brasileiros. Um exemplo dessa variação é o caso do rio Amazonas que apresenta uma elevação gradativa do pH a partir do valor 4,0 atingindo o máximo de 7,8 praticamente em águas marinhas. Essa mesma característica foi observada por Eyre (1994), no estuário do rio Moresby, Queensland – Austrália, o qual apresenta variação de pH entre, aproximadamente, 5,5 nas águas, com maior influência fluvial e, aproximadamente, 8,0 nas águas com maior influência marinha, para a estação seca e chuvosa.

Em relação aos valores de pH nos rios e estuários amazônicos, observa-se, de uma forma geral que as águas são ácidas devido a influencia do material em suspensão presente nas águas desses rios (argila rica em caulinita e ácidos húmicos oriundos da decomposição do material vegetal) (Lima & Kobayashi, 1988). Alguns trabalhos já realizados na região amazônica apresentam resultados que corroboram com os obtidos nesse trabalho, como: Carvalho (2002) verificou valores de pH em torno de 5,6 nas proximidades do distrito de Icoaraci (entre a foz dos rios Guamá e Acará); Monteiro (2006) observou valores de pH entre 5,19 e 6,72, sendo os maiores valores observados durante o período menos chuvoso (setembro) em seu estudo realizado no rio Guamá e baía do Guajará; e Pereira (2007) observou pH variando entre 4,35 e 6,15 em seu estudo realizado no rio Murucupi, Barcarena-PA.

6.1.3 Condutividade elétrica, salinidade e sólidos totais dissolvidos

A variação espaço-temporal da condutividade elétrica, da salinidade e dos sólidos totais dissolvidos no estuário do rio Paracauari é claramente regida pelo ciclo hidrológico. A CE apresentou média de 256 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período chuvoso, 1962 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no intermediário e 11002 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no menos chuvoso. A salinidade apresentou média de 0,12 no período chuvoso, 0,96 no intermediário e 6,18 no menos chuvoso. Por fim, os TDS apresentaram média de 125,66 mg/L no período chuvoso, 912,93 mg/L no intermediário e 5505,03 mg/L no menos chuvoso (Figura 17).

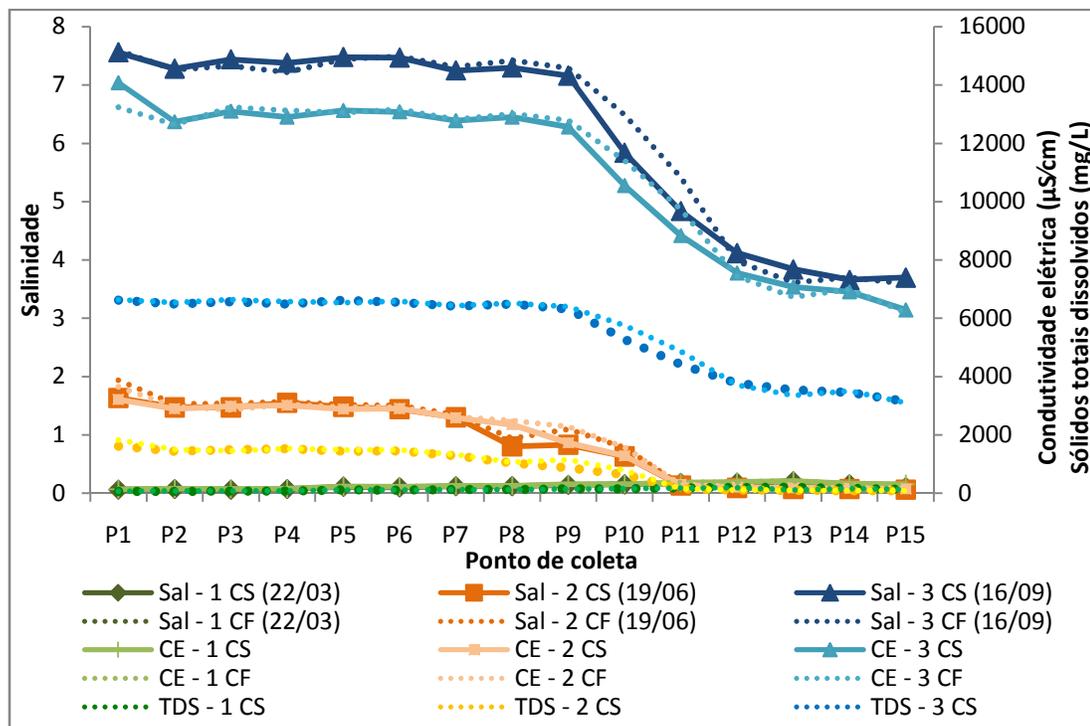


Figura 17: Variação espacial e temporal de CE, salinidade e TDS na coluna d'água do estuário do rio Paracauari no período chuvoso, intermediário e menos chuvoso 1CS, 2 CS e 3 CS (1^a, 2^a e 3^a campanha – amostragem superficial, respectivamente); 1CF, 2 CF e 3 CF (1^a, 2^a e 3^a campanha – amostragem no fundo, respectivamente) P1 – foz; P15 – montante

Antes de descrever o comportamento dos três parâmetros analisados, é importante destacar que em nenhuma das campanhas foram observadas mudanças significativas entre os valores de superfície e de fundo ao ponto de se estabelecer uma estratificação na coluna d'água.

Durante o período chuvoso observou-se um gradiente de CE, de salinidade e de TDS crescente da foz em direção a montante do rio, sendo os mínimos dos três parâmetros encontrados na foz, e os máximos a montante do estuário. Os valores mínimos e máximos dos três parâmetros neste período foram: 132 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 416 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de CE, 0,06 e 0,2 de salinidade e 62 mg/L e 208 mg/L de TDS (Figura 18, a, b e c).

Os máximos dos três parâmetros ocorreram a montante do rio, provavelmente, porque durante o período chuvoso, com a elevação do nível d'água do rio e conseqüente alagamento da várzea, ocorre uma exportação de sais retidos nessa área

para o rio. Assim, entende-se que as várzeas que margeiam o estuário do rio Paracauari desempenham um importante papel regulador nas concentrações de sais dessas águas.

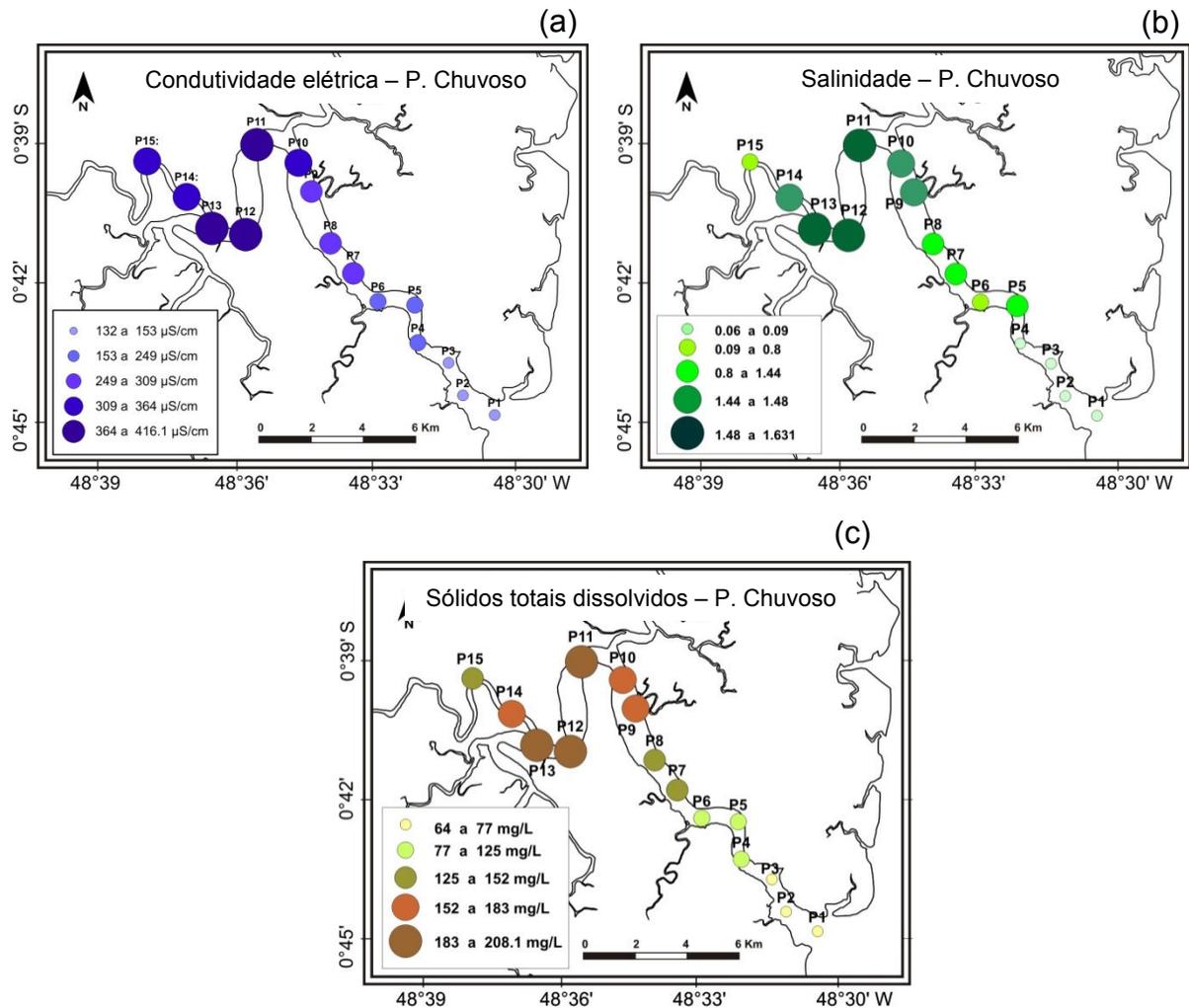


Figura 18: Variação longitudinal durante o período chuvoso de: a) salinidade, b) CE e c) TDS

Já durante o período intermediário e menos chuvoso, com a diminuição dos índices pluviométricos, observou-se um comportamento oposto ao do período chuvoso, havendo um gradiente decrescente de CE, salinidade e TDS da foz para montante do rio. Assim, os valores máximos dos três parâmetros ocorreram na foz, enquanto que os mínimos ocorreram a montante. No período intermediário os valores mínimos e

máximos dos três parâmetros foram: 3210 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 148 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de CE, 1,63 e 0,06 de salinidade e 1614 mg/L e 80 mg/L de TDS (Figura 19 a, c, e). No período menos chuvoso os mínimos e os máximos foram: 14080 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 6283 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de CE, 7,56 e 3,63 de salinidade e 6618 mg/L e 3147 mg/L de TDS (Figura 19 b, d, f).

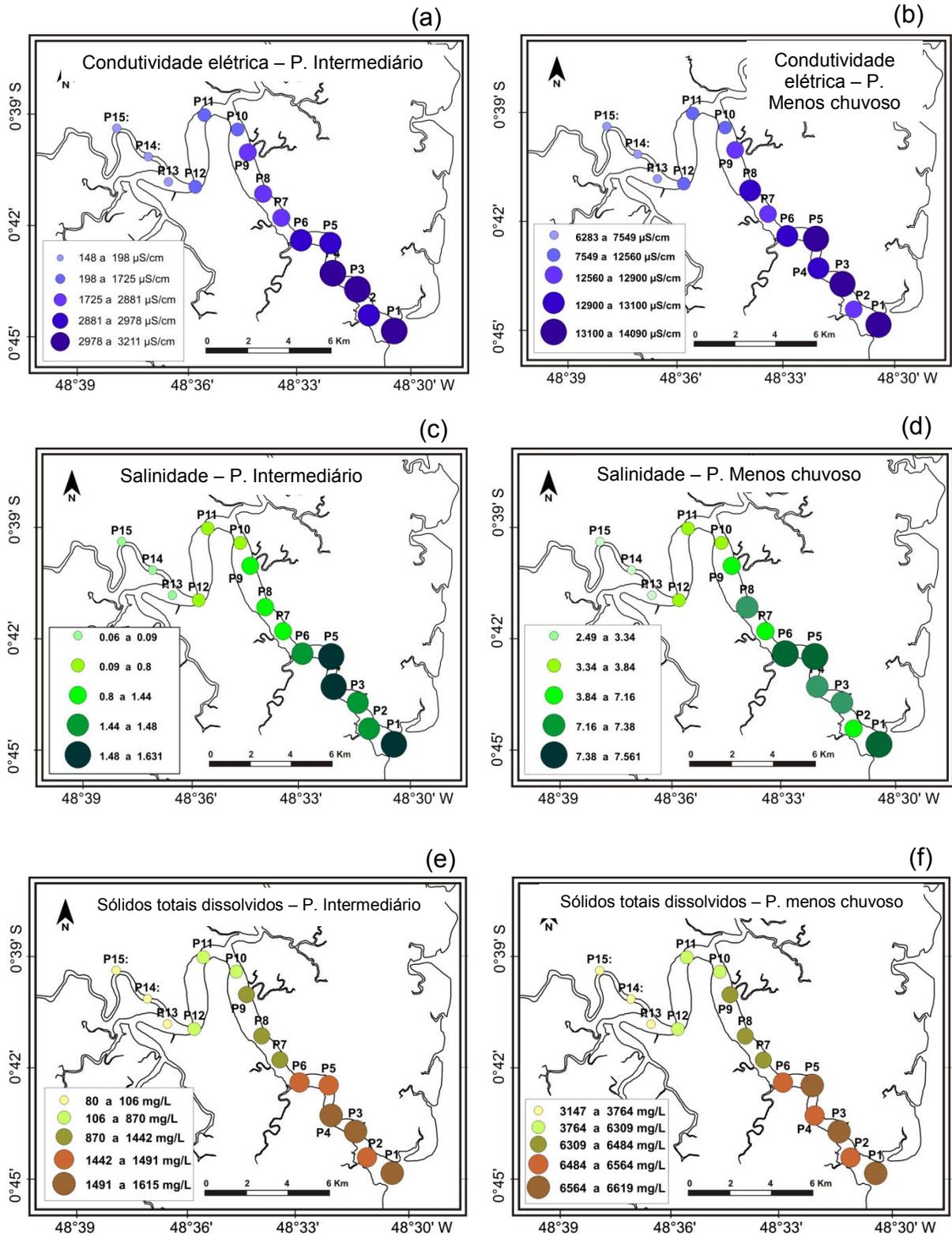


Figura 19: Variação longitudinal durante os respectivos períodos intermediário e menos chuvoso de: a, b) CE; c, d) salinidade; e, f) TDS

Um comportamento similar da variação dos três parâmetros ao longo do estuário do rio Paracauari pode ser observado durante os três períodos sazonais. Sendo os menores valores de salinidade, CE e TDS evidenciados a montante e os maiores a jusante durante o período intermediário e menos chuvoso, e o oposto no período chuvoso (Figura 20 a, b, c).

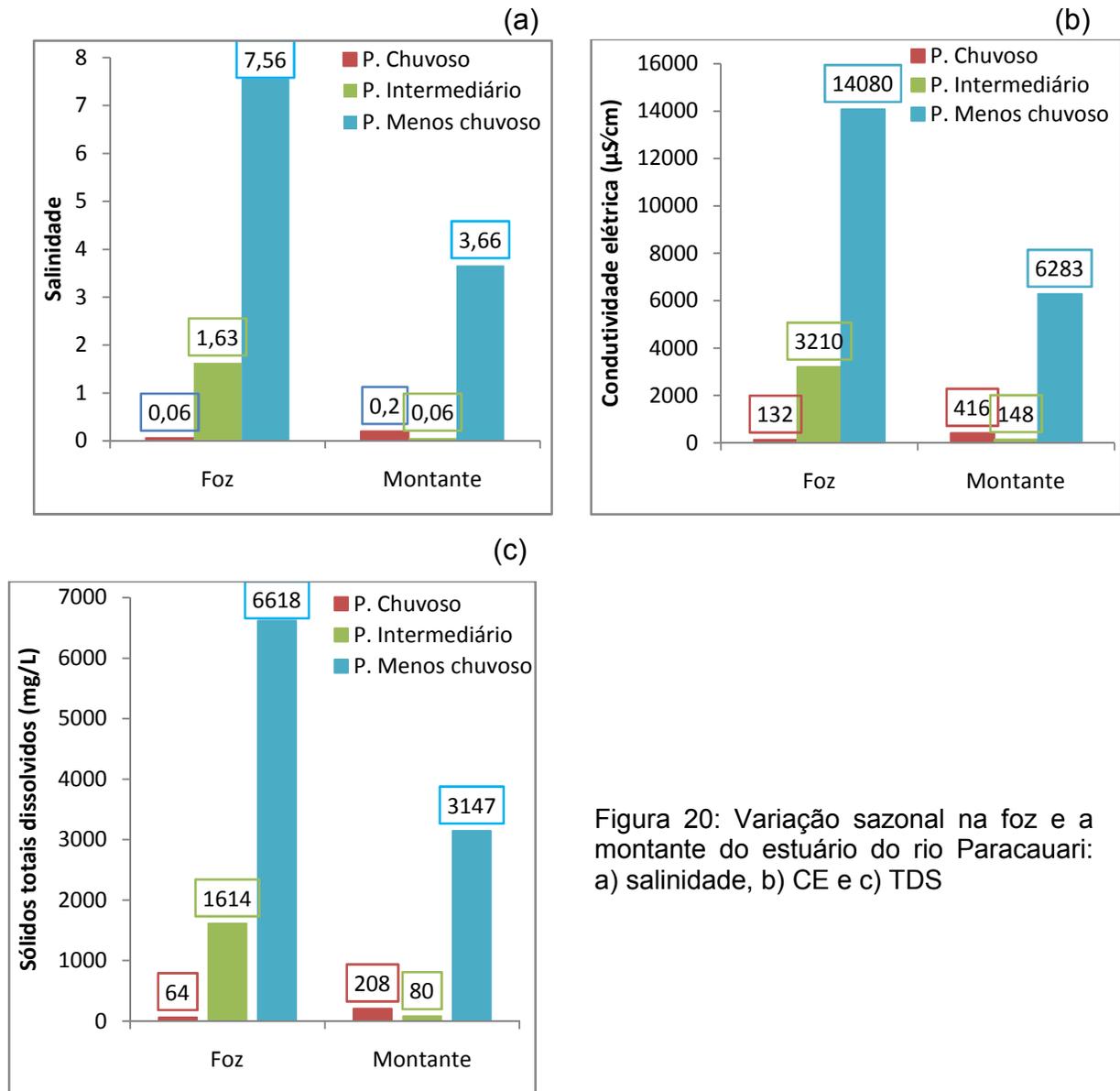


Figura 20: Variação sazonal na foz e a montante do estuário do rio Paracauari: a) salinidade, b) CE e c) TDS

É importante ressaltar que a CE e a salinidade são fortemente influenciadas pela elevação da temperatura e pelo aumento da intensidade dos ventos no período de

estiagem e, também, pelo aumento da vazão do rio durante as chuvas as quais provocam diminuição nos valores. Este comportamento salienta o papel das variações sazonais no equilíbrio salino das águas costeiras (Berredo & Costa, 2002). Com isso, pode-se afirmar que, durante o período chuvoso no estuário do rio Paracauari, os baixos valores de ambos os parâmetros, provavelmente, são devido à diluição ocasionada pelo aumento dos índices pluviométricos típicos desse período. Enquanto que os valores mais elevados, observados durante o período menos chuvoso, estão associados à redução no aporte de águas fluviais para a região oceânica, o que permitiu maiores intrusões de águas marinhas no estuário (Mekong River Commission, 2005).

Tais afirmativas podem ser comprovadas pelos dados obtidos em campo, já que durante o período chuvoso e intermediário, a montante do rio (Ponto 15) a salinidade ficou próximo ao zero, porém, no período menos chuvoso, a salinidade nesse mesmo ponto foi de 3,70. Nesse período, coletaram-se amostras de água em mais seis pontos de amostragem (Figura 21). Com isso, verificou-se que as águas marinhas, comprovadas pela salinidade quase estável em torno de 1,5, penetram o estuário do rio Paracauari cerca de 40 km a partir da foz.

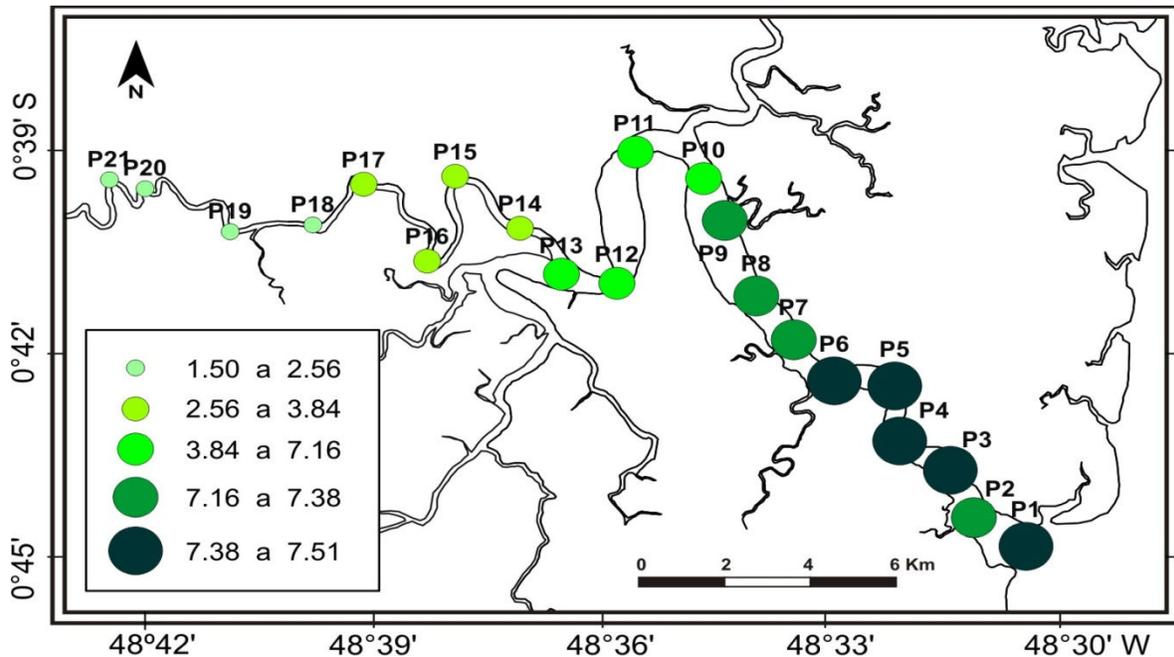


Figura 21: Variação longitudinal de salinidade durante o período menos chuvoso

Os dados de condutividade elétrica medida neste estudo estão em conformidade com os valores obtidos por outros autores nos rios da região, como: Berredo et al. (2003) observou CE de 80,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em águas superficiais de Mosqueiro; e Cordeiro (1987) encontrou também em Mosqueiro, durante o período chuvoso, CE de 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 13.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durante o período menos chuvoso.

Diante dos valores de salinidade obtidos no rio Paracauari, é possível classificar suas águas em oligohalina, com salinidade inferior a 5 durante o período chuvoso e em mesohalina, com salinidade variando entre 5 e 18, durante o período menos chuvoso, segundo Smayda (1983) e Kennish (1994).

6.1.4 Transparência e material em suspensão

A variação espaço-temporal da transparência da água e do material em suspensão no estuário do rio Paracauari é claramente regida pelo ciclo hidrológico, sendo os valores médios de transparência da água equivalente a 8,4 cm no período

chuvoso, 40,26 cm no intermediário e 45,33 cm no menos chuvoso (Figura 22 a); e os valores médios de MPS iguais a 93,72 mg/L no período chuvoso, 37,19 mg/L no intermediário e 15,18 mg/L no menos chuvoso (Figura 22 b).

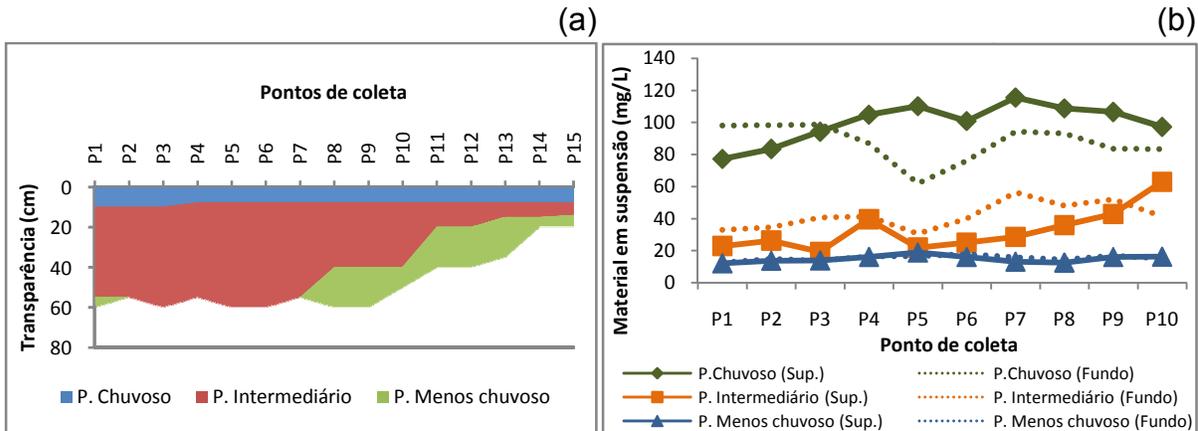


Figura 22: Variação da a) transparência da água e b) material em suspensão durante amostragem ao longo do rio Paracauari nos três períodos: chuvoso, intermediário e menos chuvoso

À medida que os índices pluviométricos aumentam, os níveis das águas do rio tendem a subir, promovendo o escoamento superficial de material particulado e dissolvido para o rio, promovendo uma maior concentração de MPS e conseqüente diminuição da transparência da água. Assim, no período chuvoso, as concentrações de MPS variaram entre 77,33 e 115,66 mg/L na superfície (Figura 23 b) e entre 62,00 e 98,66 mg/L no fundo. Os valores mínimos foram observados na foz e os máximos próximos a um igarapé com grande concentração de sedimentos finos (P7). Enquanto que a transparência variou apenas 2 cm (mínimo de 8 cm e máximo de 10 cm) ao longo do rio, mas também apresentando os valores máximos na foz (Figura 23 a).

No período intermediário e menos chuvoso, com a diminuição dos índices pluviométricos e conseqüente diminuição na vazão do rio, há maior penetração de águas oceânicas, mais límpidas. Assim, os valores de transparência variaram entre 14 e 60 cm no período intermediário (Figura 23 c) e 20 e 60 cm no período menos chuvoso (Figura 23 e), sendo os maiores valores também encontrados na foz. Já as

concentrações de material em suspensão no período intermediário variaram entre 19,33 e 63,00 mg/L na superfície (Figura 23 d) e 30,66 e 56,33 mg/L no fundo; e no período menos chuvoso a variação superficial foi de 12,14 a 18,91 mg/L (Figura 23 f) e no fundo foi de 12,51 a 17,90 mg/L. Em ambas as campanhas, o comportamento do material em suspensão foi semelhante: valores mínimos observados na foz, e máximos a montante, com exceção do P4 que é uma área de refluxo (Figura 23 d) e, por isso, apresentaram concentrações mais elevadas do que o esperado.

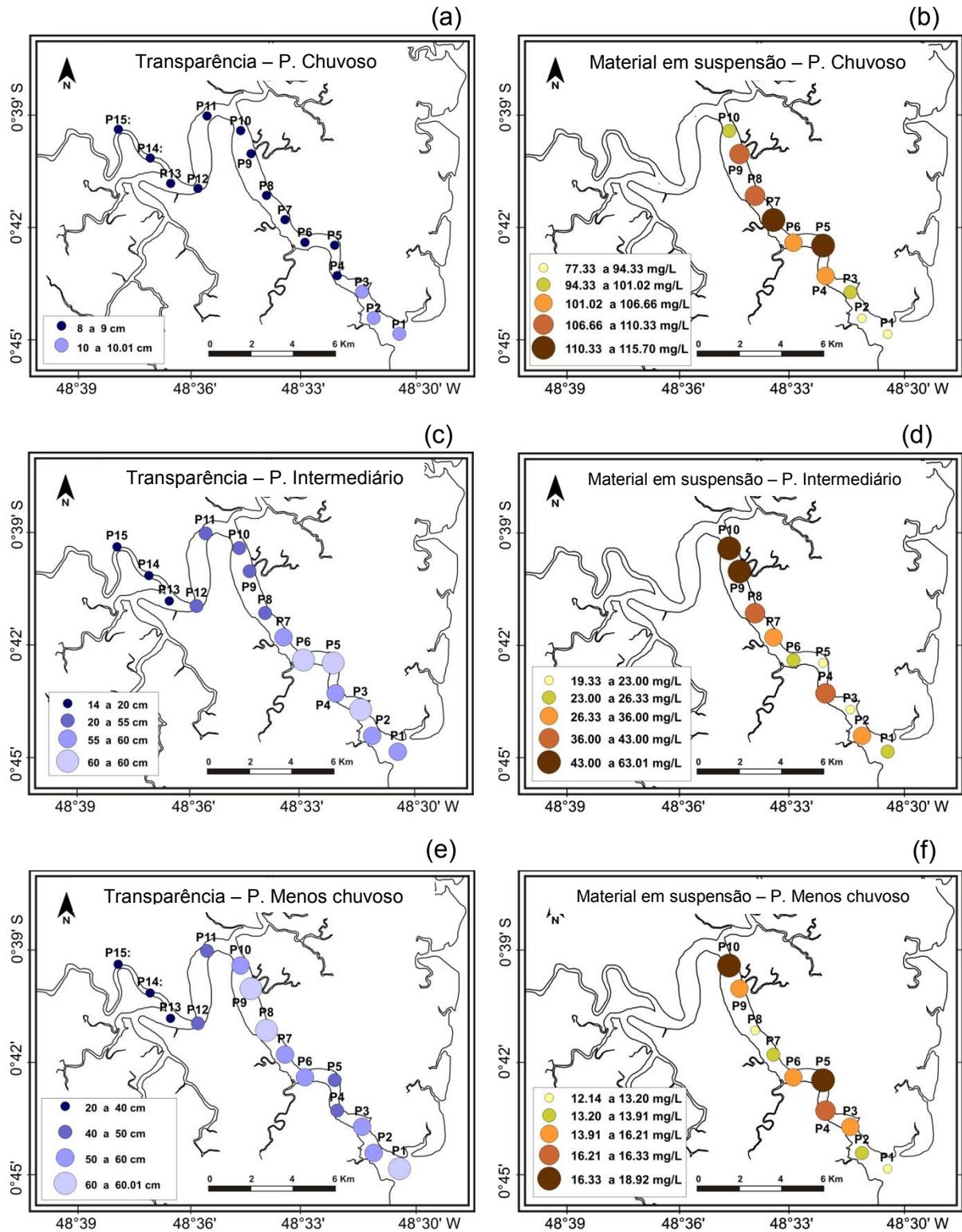


Figura 23: Variação sazonal e longitudinal da transparência da água e do material em suspensão no estuário do rio Paracauari: a, b) Período chuvoso; c, d) Período intermediário; e, f) Período menos chuvoso

A transparência da água nos três períodos apresentou seus máximos na foz, porém, durante o período menos chuvoso, a penetração das águas marinhas no estuário do rio Paracauari promoveu elevados valores de transparência da água (30 cm), também a montante do estuário (Figura 24).

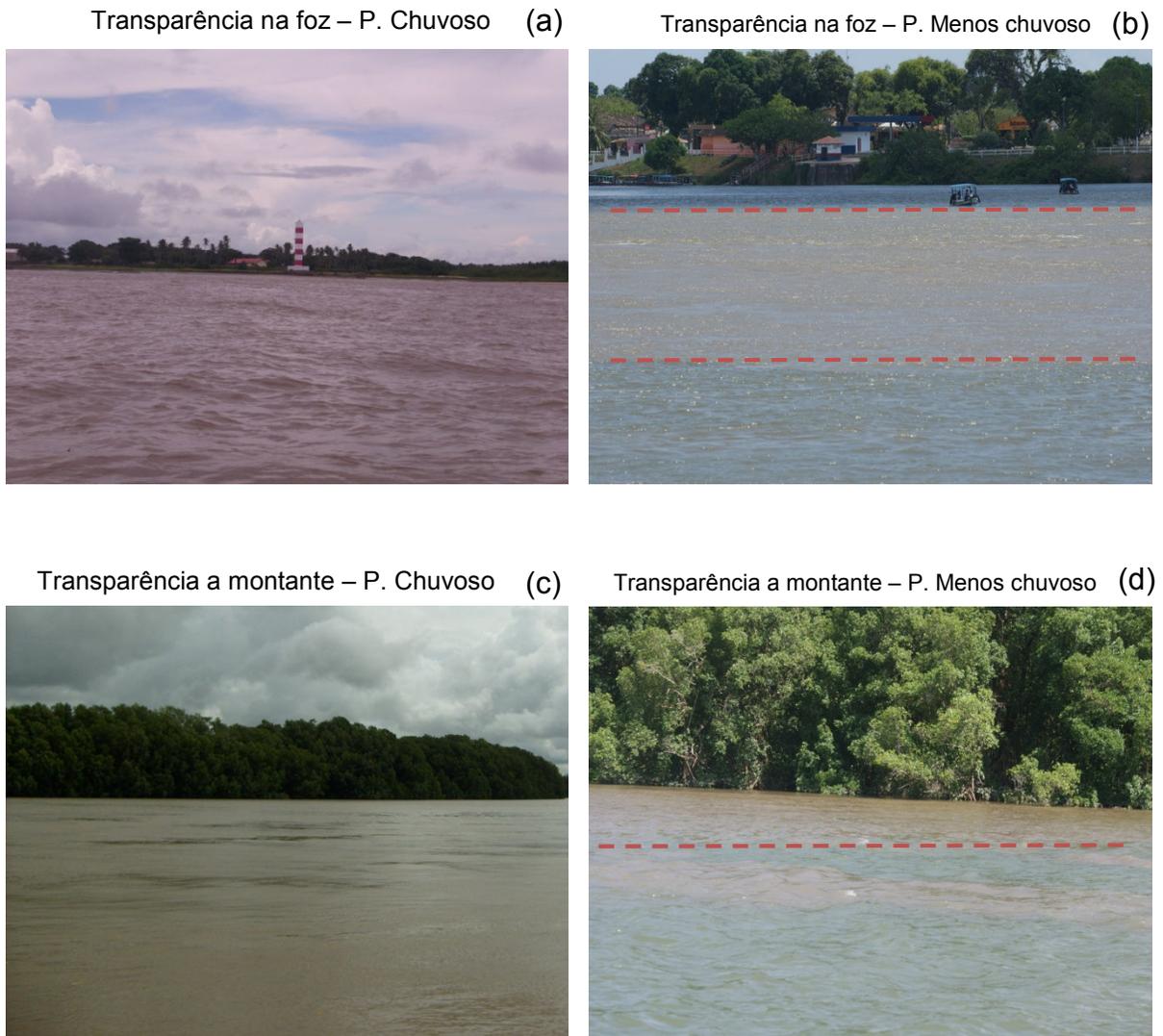


Figura 24: Comparativo da transparência da água durante o período chuvoso e menos chuvoso, respectivamente: a, b) na foz; c, d) a montante

As águas estuarinas do rio Paracauari podem ser classificadas como “águas brancas”, em consequência do material orgânico-mineral em suspensão, transportado para o estuário pelos numerosos rios, “furos” e igarapés. Esse complexo orgânico-

mineral é formado por material orgânico e argiloso, predominantemente caulínítico (Cordeiro, 1987; Lima & Kobayashi, 1988; Pinheiro, 1987; Ribeiro, 1992; Ribeiro & Lima, 1992).

No estuário Annan - Austrália, houve uma variação da concentração de sedimento em suspensão de 15 a 105 mg/L durante o período chuvoso e 3 e 15 mg/L no menos chuvoso, e Bradley & Philip (1999) atribuíram que, em geral, os estuários tropicais apresentam elevadas concentrações de sedimento em suspensão durante o período chuvoso, quando ocorre o alagamento das áreas adjacentes ao estuário. Já durante o período menos chuvoso, as baixas concentrações de sedimentos em suspensão nos estuários tropicais, refletem provavelmente a sua natureza quase intocada, com suas concentrações controladas principalmente pela energia dos ventos e das marés.

6.1.5 Oxigênio dissolvido

A concentração de oxigênio dissolvido da coluna d'água ao longo do estuário do rio Paracauari apresentou valores médios de 3,11 mg/L no período chuvoso, 4,32 mg/L no intermediário e 6,30 mg/L no menos chuvoso (Figura 25).

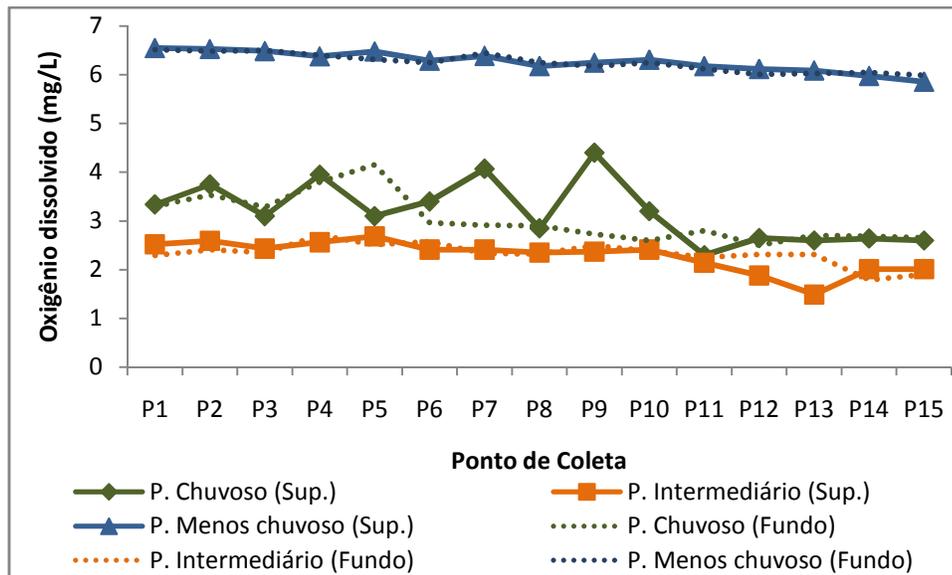


Figura 25: Variação espacial e temporal de oxigênio dissolvido na coluna d'água do estuário do rio Paracauari nos três períodos: chuvoso, intermediário e menos chuvoso
P1 – foz; P15 – montante

Durante as campanhas não foi possível observar variações significativas na coluna d'água (superfície e fundo) e ao longo do rio, porém foram notadas variações sazonais nas concentrações de OD.

Durante o período chuvoso o valor máximo de 4,4 mg/L e OD foi encontrado no meio do estuário e o mínimo de 2,3 mg/L a montante (Figura 26 a). Durante o intermediário, o máximo foi de 2,68 mg/L no meio do estuário e o mínimo de 1,49 a montante (Figura 26 b). Por fim, durante o período menos chuvoso, o valor máximo observado foi de 6,55 mg/L na foz e o mínimo de 5,86 mg/L a montante do estuário (Figura 26 c).

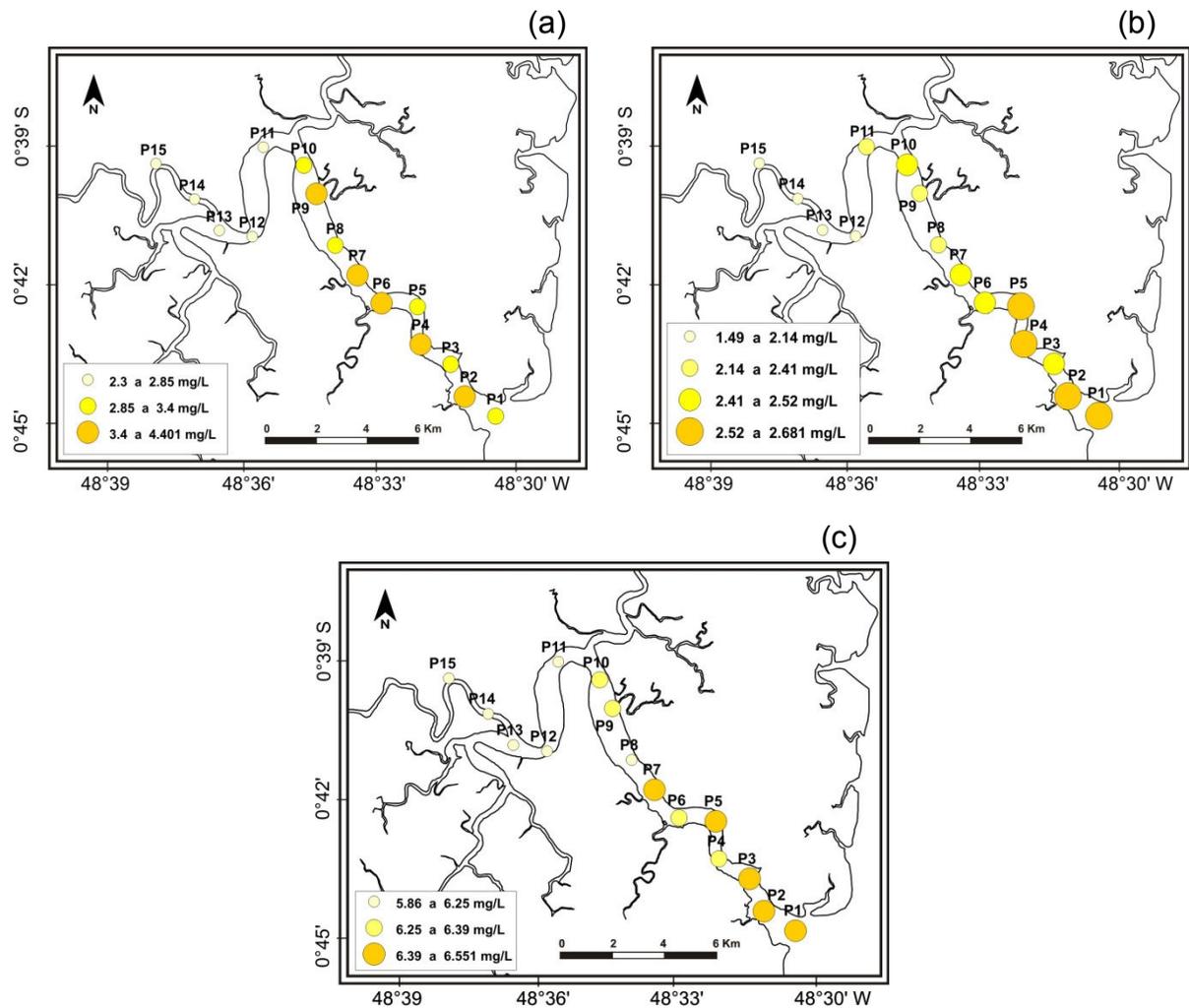


Figura 26: Variação sazonal e longitudinal das concentrações de OD no estuário do rio Paracauari: a) Período chuvoso; b) Período intermediário; c) Período menos chuvoso

Nos períodos chuvoso e intermediário, observaram-se valores de OD abaixo dos descritos na resolução 357 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) (5,0 mg/L OD). Tal fato está associado ao consumo de oxigênio dissolvido na água pela ação redutora da matéria orgânica proveniente do efluente que é despejado naturalmente no rio. Em contra partida, as elevadas concentrações de OD durante o período menos chuvoso pode estar associados à produtividade fotossintética e pela turbulência provocada pelos fortes ventos que acompanham esse período.

Os resultados obtidos neste trabalho estão em conformidades com os apresentados por Cohen (1998) em seu estudo realizado nas águas do manguezal de Bragança, o qual mostra concentrações de oxigênio dissolvido menores nos meses de maior precipitação pluviométrica, devido à maior quantidade de material particulado em suspensão no sistema, a qual dificulta a penetração da luminosidade e, conseqüentemente, provoca a limitação de produção primária. Nas águas superficiais do estuário do rio Marapanim, Aguiar (2003) observou teores de OD entre 2,89 e 9,5 mg/L, os quais foram justificados pelo autor devido à circulação e a renovação das águas no estuário, auxiliados pelos ventos abundantes e pela amplitude das marés.

6.1.6 Nutrientes

Os sistemas estuarinos tropicais apresentam geralmente baixas concentrações de nutrientes (Hatcher et al., 1989), exceto quando há enriquecimento por vias antropogênicas, o que não pode ser afirmado neste estudo.

Há uma série de fatores que podem explicar essas baixas concentrações de nutrientes em estuários tropicais. Primeiramente, Nixon et al. (1984) encontrou baixas concentrações de nutrientes tanto em áreas de manguezais preservados, quanto em áreas onde os manguezais haviam sido removidos e também em manguezais tropicais inalterados (Boto & Wellington, 1988) sendo todos eficientes sumidouros de nutrientes (Alongi, 1996). Isto sugere que a absorção de nutrientes por manguezais pode ser parcialmente responsável pela baixa concentração de nutrientes nos estuários tropicais. Em segundo lugar, as águas estuarinas tropicais apresentam baixas concentrações de sais e nutrientes dissolvidos pelo fato do solo tropical ser relativamente pobre em valores nutricionais, devido à contínua lixiviação de materiais solúveis em decorrência da alta precipitação, ou seja, elevados níveis de intemperismo químico (Meybeck, 1981, Saenger & Holmes, 1992). Em terceiro lugar, os elevados índices pluviométricos causam uma rápida circulação da água através das rochas diminuindo o tempo para reação e lixiviação (Drever, 1982). Isto é compatível com a alta concentração de silicatos e sólidos totais dissolvidos nos estuários tropicais.

6.1.6.1 Compostos nitrogenados

6.1.6.1.1 Nitrito ($N-NO_2^-$)

No estuário do rio Paracauari, as concentrações de nitrito apresentaram média de 0,08 $\mu\text{M/L}$ no período chuvoso e 0,03 $\mu\text{M/L}$ no intermediário e no menos chuvoso. É importante ressaltar que, dependendo das condições do meio, o nitrito é oxidado a nitrato ou reduzido a amônio, logo ele é bastante instável e representa a fase intermediária entre o íon amônio e o nitrato no processo de transformação do nitrogênio (Melo, 1998).

Durante o período chuvoso, a concentração mínima de nitrito na coluna d'água foi 0,01 $\mu\text{M/L}$ observadas na foz; enquanto que as máximas foram 0,09 $\mu\text{M/L}$ na superfície e 0,11 $\mu\text{M/L}$ e fundo ambas a montante (Figura 27 a). Já no intermediário, as concentrações mínimas foram de 0,01 $\mu\text{M/L}$ na superfície encontrada no meio do estuário e a mesma concentração no fundo a montante do estuário; e as máximas foram de 0,11 $\mu\text{M/L}$ na superfície, a montante e 0,08 $\mu\text{M/L}$ no fundo no meio do estuário (Figura 27 b). Por fim, no período menos chuvoso a concentração mínima foi 0,01 $\mu\text{M/L}$ na foz, na superfície e a máxima foi de 0,07 $\mu\text{M/L}$ a montante na superfície e na foz, no fundo (Figura 27 c).

A variação longitudinal do nitrito ocorre devido a sua instabilidade durante as reações de desnitrificação e nitrificação, sendo, portanto rapidamente convertido em nitrato. Assim, é comum que suas concentrações na água sejam em geral, relativamente mais baixas do que as de outras formas de nitrogênio dissolvido. No período chuvoso a concentração de nitrito apresentou-se mais elevada em relação aos outros períodos, provavelmente devido à decomposição do material orgânico das margens que são levados para dentro do rio pelo escoamento superficial. Porém, observam-se nos três períodos, teores de nitrito mais elevados nas estações a montante do estuário, os quais são indicativos de uma incorporação ao meio através escoamento superficial das áreas adjacentes, sendo o seu padrão do tipo não conservativo.

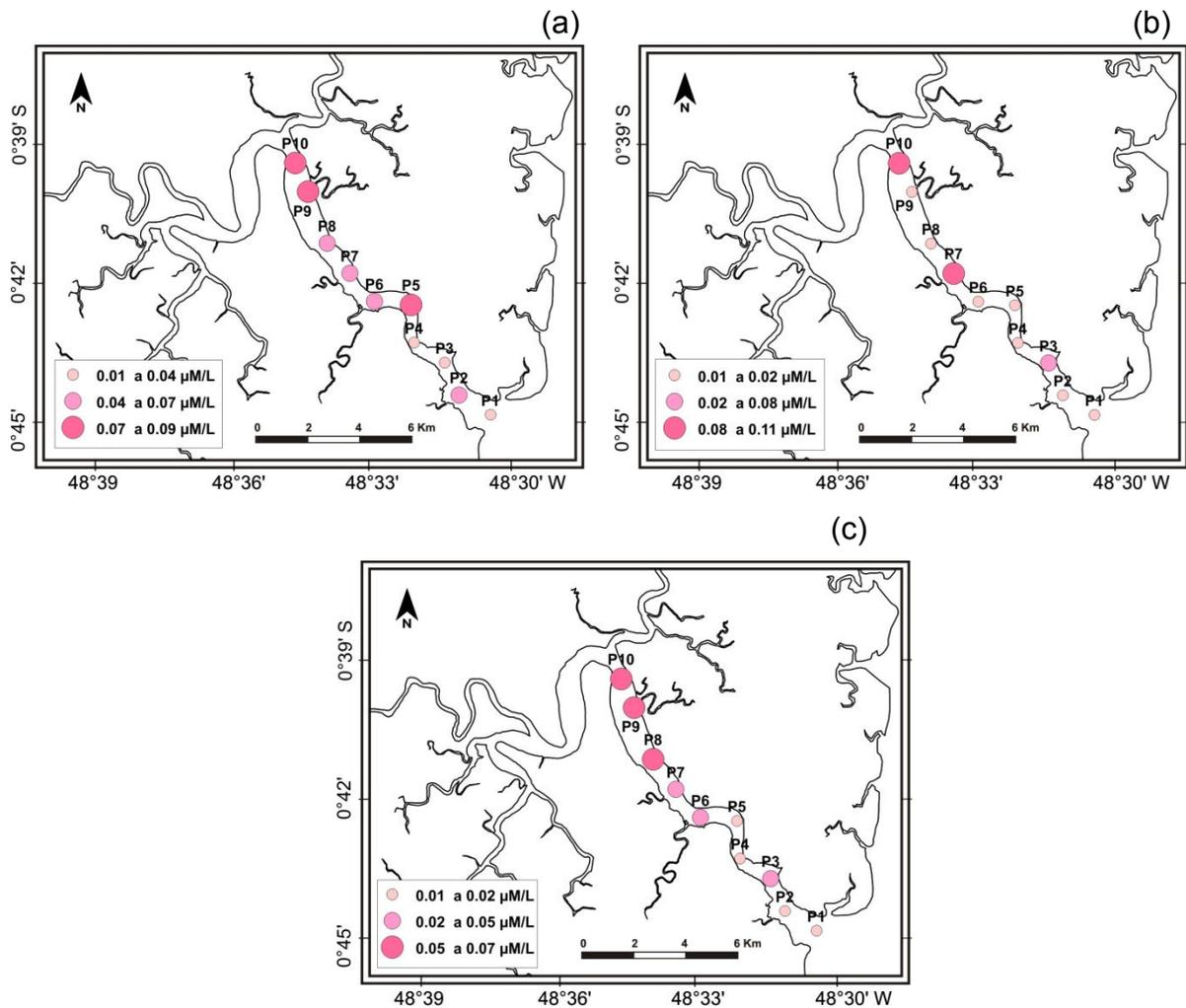


Figura 27: Variação sazonal e longitudinal das concentrações de nitrito no estuário do rio Paracauari: a) Período chuvoso; b) Período intermediário; c) Período menos chuvoso

As concentrações obtidas no presente estudo estão dentro do padrão estabelecido para águas costeiras não-poluídas que segundo Aminot & Chaussepied (1983) que admitem uma variação de 0,5 a 1,0 $\mu\text{M/L}$. Além disso, esses resultados corroboram com os dados obtidos por Cohen (1998) no Furo do Chato, aonde as concentrações do nitrito chegaram a valores próximos de 0,6 $\mu\text{M/L}$; e por Pereira (2006) que observou concentrações de nitrito variando entre 0,17 $\mu\text{M/L}$ no período menos chuvoso e 0,28 $\mu\text{M/L}$ no chuvoso no estuário do rio Curuçá (Município de Curuçá – NE do Pará).

6.1.6.1.2 Nitrato ($N-NO_3^-$)

A concentração de nitrato nas águas estuarinas é, em geral, mais elevada do que a do íon amônio e do nitrito, além de ser a espécie mais estável. Sazonalmente, as concentrações de nitrato no estuário do rio Paracauari apresentaram médias de 6,52 $\mu\text{M/L}$ no período chuvoso, 2,20 $\mu\text{M/L}$ no intermediário e 2,09 $\mu\text{M/L}$ no menos chuvoso.

Durante o período chuvoso as concentrações mínimas observadas foram de 5,16 $\mu\text{M/L}$ na superfície e 5,10 μM no fundo ambas no meio do estuário, e as máximas foram 8,22 $\mu\text{M/L}$ na superfície e 8,90 $\mu\text{M/L}$ no fundo, ambas a montante (Figura 28 a). No período intermediário, a concentração mínima superficial foi 0,80 $\mu\text{M/L}$ e 1,00 $\mu\text{M/L}$ no fundo, no meio do estuário; e as máximas foram de 5,64 $\mu\text{M/L}$ na superfície e 3,54 $\mu\text{M/L}$ no fundo, ambas a montante (Figura 28 b). No período menos chuvoso, as concentrações mínimas foram 0,64 $\mu\text{M/L}$ na superfície e 0,86 $\mu\text{M/L}$ no fundo, na foz; e as máximas foram de 4,93 e 4,21 $\mu\text{M/L}$ a montante, na superfície e no fundo, respectivamente (Figura 28 c).

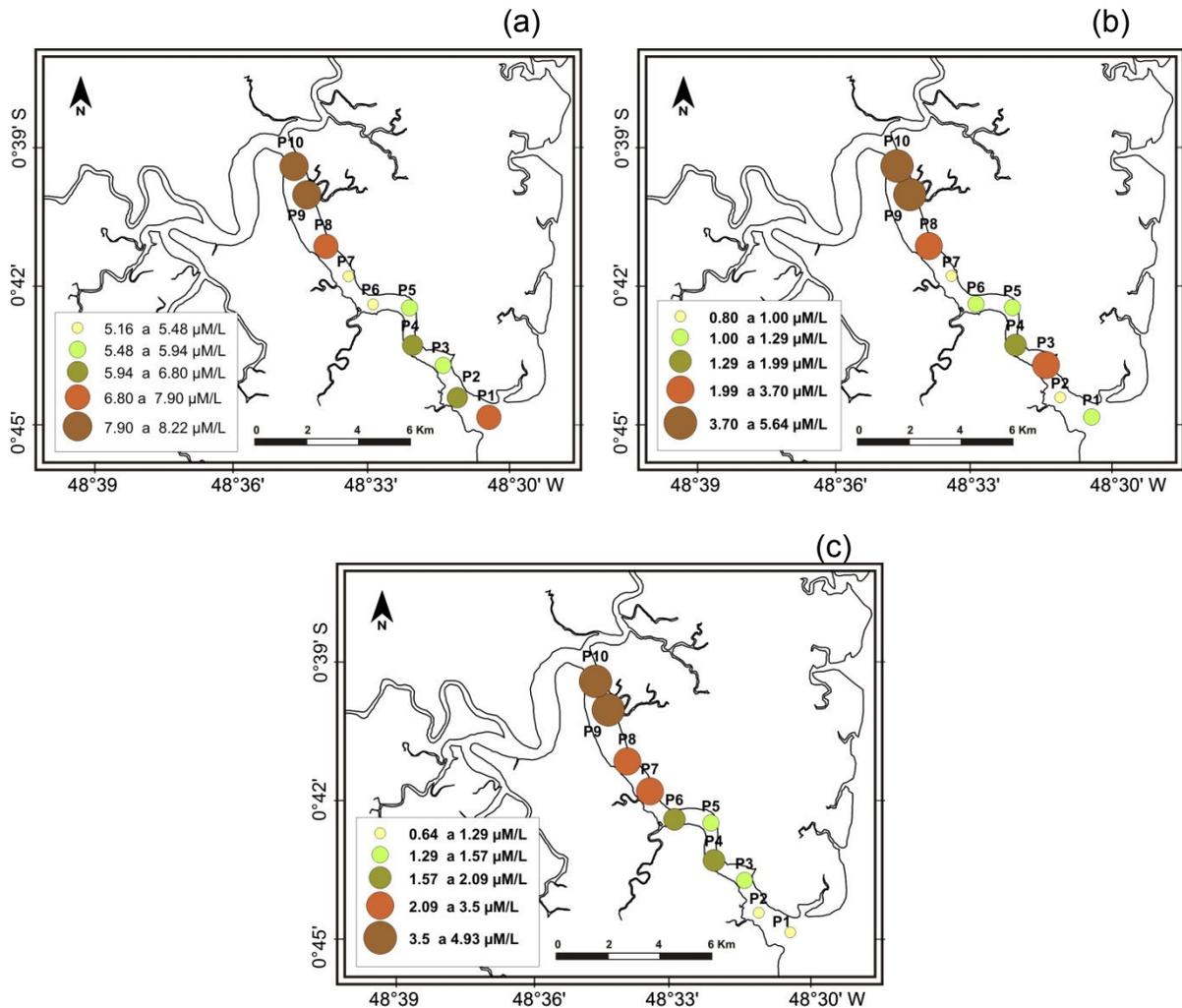


Figura 28: Variação sazonal e longitudinal das concentrações de nitrato no estuário do rio Paracauari: a) Período chuvoso; b) Período intermediário; c) Período menos chuvoso

As concentrações de nitrato permitem observar tanto variações sazonais quanto longitudinais. Bradley & Philip (1999) afirmam que as concentrações de nitrato são bastante estáveis em estuários tropicais, sendo geralmente menores durante o período menos chuvoso. Já durante o período chuvoso, com o aumento do fluxo de inundação, tem-se a elevação das concentrações nitrato e, conseqüentemente, esse íon passa a exibir uma distribuição linear em todo o estuário. No estuário Daintree (Queensland – Austrália), os mesmos autores observaram valores menores que 1 $\mu\text{M/L}$ durante o

período menos chuvoso e valores variando entre 0,5 e 6 $\mu\text{M/L}$ durante o período chuvoso.

As concentrações mais elevadas na parte interna do estuário do rio Paracauari podem estar relacionadas à ocorrência do processo de nitrificação, pois, na ausência de uma remoção competitiva eficiente pelo fitoplâncton, o íon amônia é transformado em nitrato. Este processo de nitrificação (oxidação) ocorre somente nas regiões onde há oxigênio disponível. A montante desse estuário, as concentrações de oxigênio dissolvido apresentam uma quantidade razoável disponível para efetuar este processo.

As elevadas concentrações de nitrato também podem ser provenientes do aporte a partir dos sedimentos do fundo, uma vez que a parte interna do estuário apresenta menores profundidades. Já na foz do estuário, com a penetração das águas marinhas, há a redução nas concentrações desse nutriente em consequência da sua diluição e também pelo aumento da produtividade biológica.

6.1.6.1.3 *N-amoniacal*

As concentrações de N-amoniacal no estuário do rio Paracauari variaram sazonalmente, apresentando médias de 0,46 $\mu\text{M/L}$ no período chuvoso, 0,41 $\mu\text{M/L}$ no intermediário e 0,28 $\mu\text{M/L}$ no menos chuvoso.

No período chuvoso, observaram-se valores de N-amoniacal variando entre 0,4 e 0,55 $\mu\text{M/L}$, tanto na superfície quanto no fundo (Figura 29 a); no intermediário (Figura 29 b) e no menos chuvoso (Figura 29 c), a variação ocorrida foi de 0,11 a 0,77 $\mu\text{M/L}$ também na superfície e fundo.

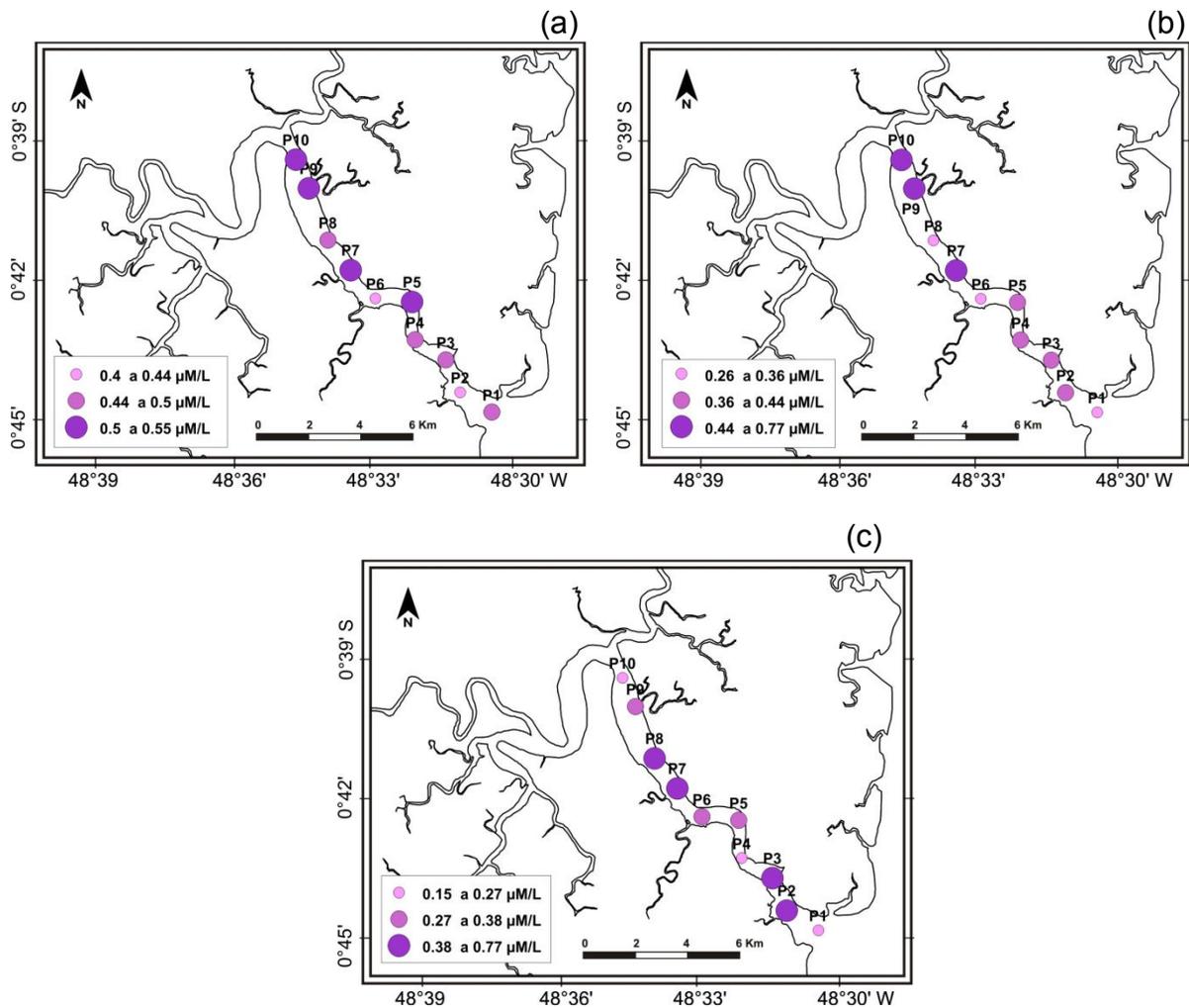


Figura 29: Variação sazonal e longitudinal das concentrações de N-amoniaco no estuário do rio Paracauari: a) Período chuvoso; b) Período intermediário; c) Período menos chuvoso

Em geral, durante as três campanhas, as maiores concentrações de N-amoniaco foram encontradas nas águas superficiais a montante do estuário. Esse comportamento já era esperado para esse estuário que está sujeito a intensa influência da floresta equatorial, rica em biodiversidade, notadamente em bactérias oxidantes (produzem nitrato) e redutoras (produzem predominantemente N-amoniaco). Enquanto que as menores concentrações, encontradas na foz, são decorrentes da penetração das águas oceânicas, menos enriquecidas de nutrientes e ao consumo pelo fitoplâncton.

Os dados obtidos nesse trabalho corroboram com os de Bradley & Philip (1999) que observaram maiores concentrações de N-amoniaco nos estuários tropicais durante

o período chuvoso; e Monteiro (2006) observou na baía do Guajará – PA também durante este período, valores de N-amoniaco mais elevados quando comparados ao período menos chuvoso, e atribuiu esse fato ao aporte de águas pluviais que são fontes naturais de nitrogênio para os corpos de água intensificada pela lixiviação das margens dos rios.

6.1.6.2 Fosfato

A distribuição longitudinal de fosfato no estuário do rio Paracauari apresentou médias de 0,89 $\mu\text{M/L}$ no período chuvoso, 0,30 $\mu\text{M/L}$ no intermediário e 0,26 $\mu\text{M/L}$ no menos chuvoso.

Durante o período chuvoso o valor mínimo observado foi de 0,76 $\mu\text{M/L}$ na superfície e 0,74 $\mu\text{M/L}$ no fundo, ambos a montante, e o máximo superficial foi 1,07 $\mu\text{M/L}$ e no fundo foi 0,97 $\mu\text{M/L}$ na foz (Figura 30 a). Durante o período intermediário as concentrações mínimas também foram encontradas a montante, tanto na superfície quanto no fundo e foram respectivamente de 0,15 e 0,18 $\mu\text{M/L}$; enquanto que as máximas foram observadas na foz igual a 0,54 $\mu\text{M/L}$ na superfície e 0,45 $\mu\text{M/L}$ no fundo (Figura 30 b). Já no período menos chuvoso, o valor mínimo encontrado foi de 0,11 $\mu\text{M/L}$ na superfície e no fundo a montante e o máximo de 0,94 $\mu\text{M/L}$ na superfície e 0,84 $\mu\text{M/L}$ no fundo, ambos na foz (Figura 30 c).

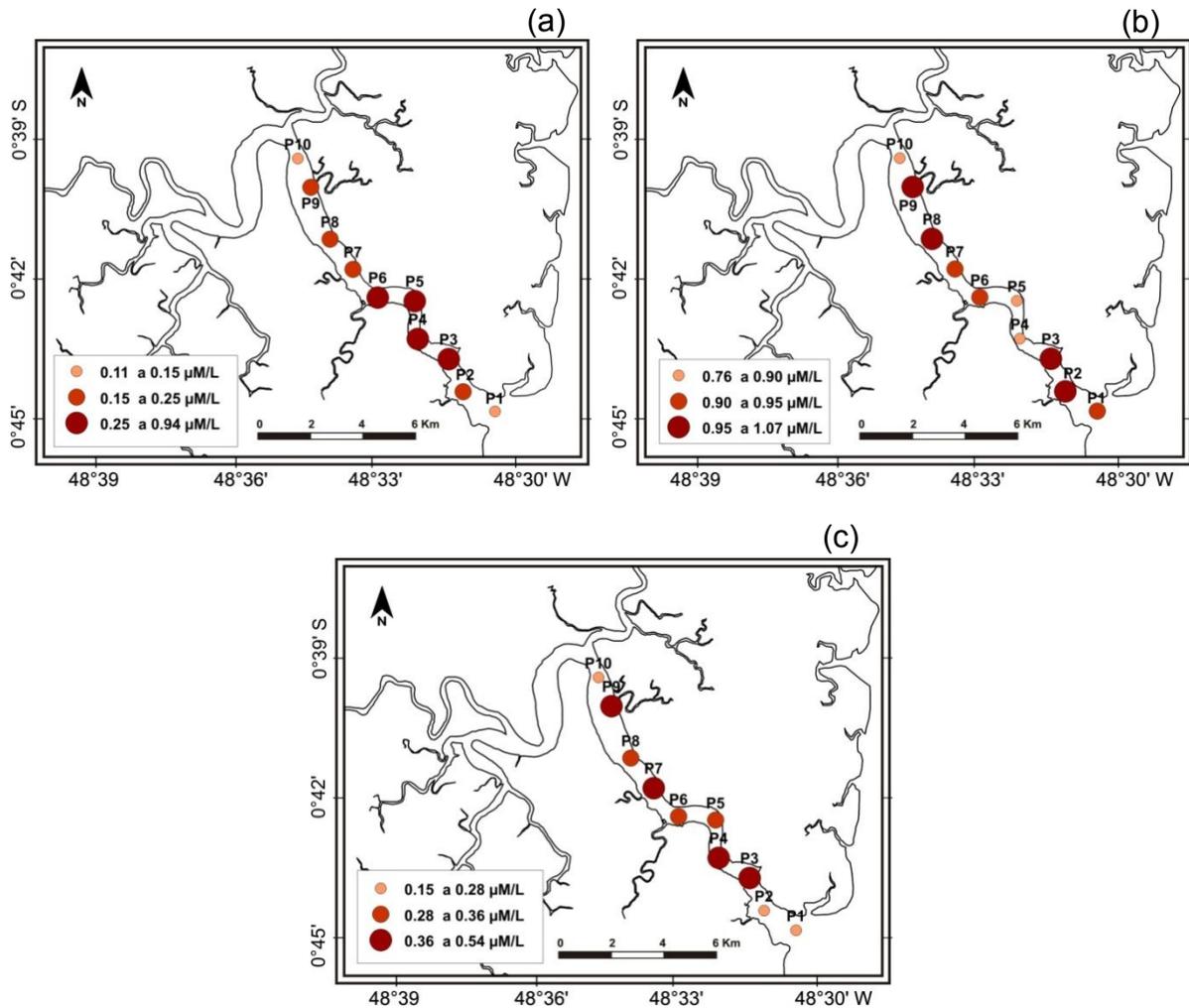


Figura 30: Variação sazonal e longitudinal das concentrações de fosfato no estuário do rio Paracauari: a) Período chuvoso; b) Período intermediário; c) Período menos chuvoso

As baixas concentrações de fosfato encontradas ao longo do ciclo hidrológico podem ser decorrentes da sua absorção por produtores primários e por bactérias. Apesar das baixas concentrações, sazonalmente, verificam-se valores de fosfato mais elevados durante o período chuvoso, o que pode ser atribuído a contribuição do particulado proveniente do escoamento fluvial e do manguezal adjacente.

Longitudinalmente, não foi possível verificar um padrão regular na distribuição do fosfato, entretanto, observaram-se nos três períodos sazonais estudados, que as mínimas concentrações ocorreram na foz, zonas mais salinas com maior transparência

e menor concentração de material em suspensão, o que em parte, facilita o consumo de fosfato pela biomassa fitoplanctônica. Enquanto que as máximas concentrações desse nutriente ocorreram na porção mais interna do estuário, o que pode está associado ao menor consumo pelo fitoplâncton.

Outros processos associados que poderiam estar afetando na distribuição tanto dos compostos fosfatados quanto dos nitrogenados seriam: mistura vertical produzida pelo vento; sedimentação de compostos fosfatados em associação com outros compostos; e remineralização da matéria orgânica.

Nos estuários tropicais Jardine, Annan e Daintree – Austrália, Bradley & Philip (1999) observaram um comportamento linear de fosfato ao longo dos estuários analisados e as concentrações variaram entre 0,01 e 0,20 $\mu\text{M/L}$, com os valores mais elevados encontrados durante o período chuvoso. Nas águas da região amazônica, alguns trabalhos realizados corroboram com este realizado no rio Paracauari, como: Lima & Kobayashi (1988) que encontraram valores médios de 0,80 $\mu\text{M/L}$ no sistema flúvio-estuarino de Barcarena; e Cohen (1998) que observou concentrações de fósforo total variando entre 0,80 e 3,5 $\mu\text{M/L}$ nas águas do Furo do Chato no município de Bragança-PA.

6.1.7.3 *Silicato $\text{Si}(\text{OH})_4$*

No estuário do rio Paracauari os valores médios de silicato na coluna d'água foram de 60,14 $\mu\text{M/L}$ no período chuvoso, 33,37 $\mu\text{M/L}$ no intermediário e 19,53 $\mu\text{M/L}$ no menos chuvoso.

Pode-se afirmar que as concentrações de silicato apresentaram um comportamento semelhante nos três períodos sazonais estudados, sendo as maiores concentrações observadas, em geral, a montante do rio. Não foram observadas variações significantes de silicato na coluna d'água (superfície e fundo). Assim, no período chuvoso, as concentrações de silicato variaram entre 43,52 e 83,10 $\mu\text{M/L}$ na foz, (Figura 31 a). No intermediário, houve uma variação de 21,01 a 42,60 $\mu\text{M/L}$ (Figura

31 b) e no menos chuvoso, as concentrações variaram entre 14,97 e 31,13 $\mu\text{M/L}$, sendo as mínimas encontradas na foz e as máximas a montante do estuário (Figura 31 c).

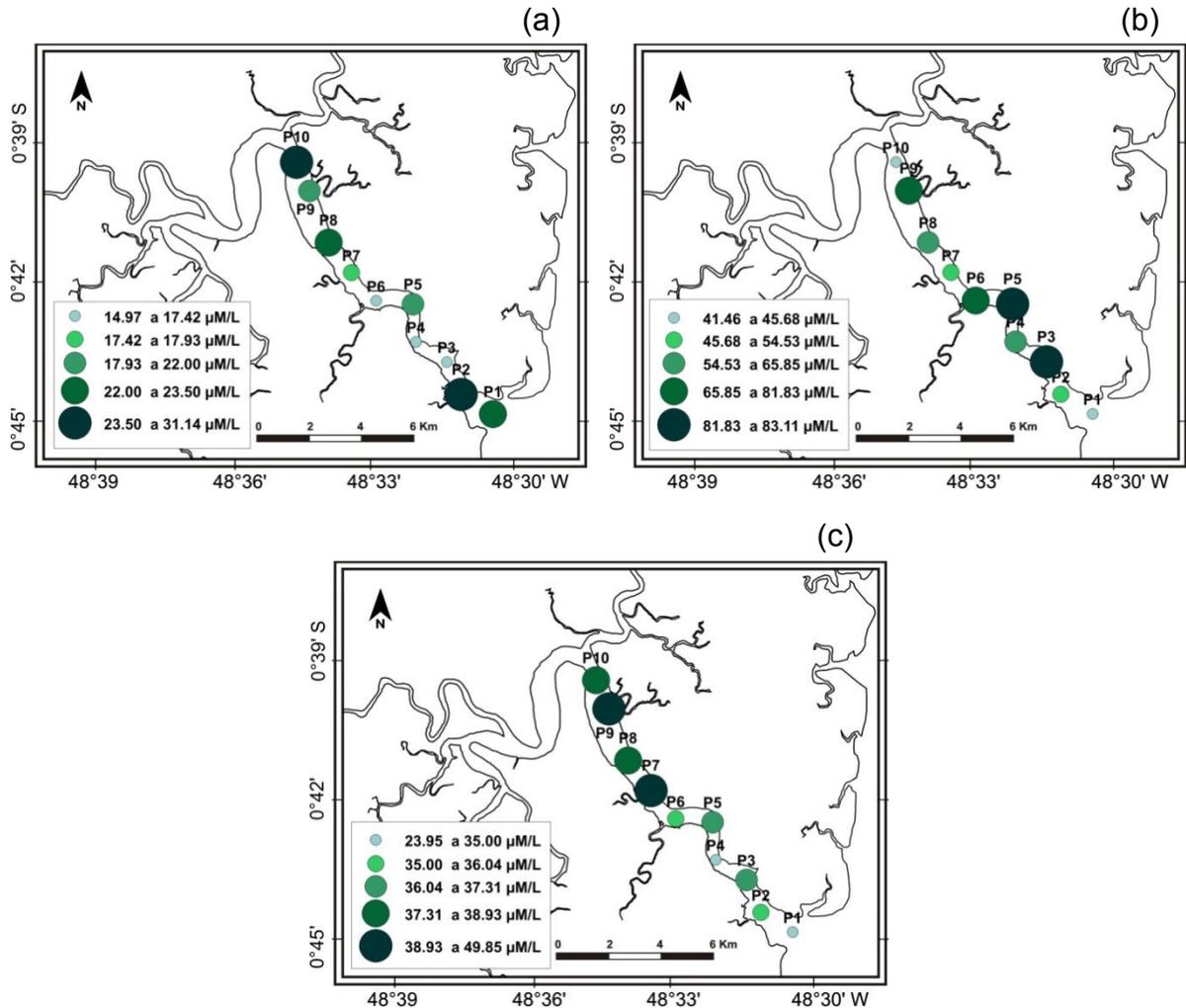


Figura 31: Variação sazonal e longitudinal das concentrações de silicato no estuário do rio Paracauari: a) Período chuvoso; b) Período intermediário; c) Período menos chuvoso

O silicato é o nutriente inorgânico que se apresenta com as maiores concentrações nos ambientes estuarinos, devido a sua origem terrígena. É utilizado pelas microalgas do grupo das diatomáceas e dos silicoflagelados para formação das suas frústulas (Fernandes, 1994).

Além disso, o comportamento do silicato pode estar ligado a processos físicos de diluição das águas fluviais, já que estas apresentam concentrações mais elevadas de silicato. Assim, o motivo das elevadas concentrações de silicato nas águas do estuário do rio Paracauari, principalmente durante o período chuvoso, é a intensa lixiviação dos sedimentos através da ação intempérica nas áreas adjacentes e do manguezal.

Os resultados obtidos revelam um comportamento não conservativo, sendo bastante expressiva, a remoção do silicato principalmente na foz do estuário. Esta remoção está associada ao consumo pelo fitoplâncton, visto que, grande parte destas microalgas em ambiente estuarino é composta por diatomáceas.

O comportamento sazonal e espacial de silicato observado no estuário do rio Paracauari é semelhante ao encontrado por outros autores, por exemplo: em relação à variação sazonal, Bradley & Philip (1999) afirmam que as maiores concentrações de silicato nos estuários tropicais foram encontradas durante o período chuvoso, meses de menor salinidade. Já em relação à distribuição longitudinal do silicato, Melo (1998) ao analisar as águas do estuário do rio Bacanga – MA, encontrou os maiores valores (200 $\mu\text{M/L}$) a montante do rio e os menores (20 a 50 $\mu\text{M/L}$) a jusante em função do aumento da salinidade. Vale ressaltar que, em geral, as águas amazônicas apresentam concentrações de silicato variando entre 2 a 187 $\mu\text{M/L}$ (Edmond et al. 1983).

6.2 VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS NA ESTAÇÃO FIXA NA FOZ DO ESTUÁRIO DO RIO PARACAUARI

6.2.1 Temperatura da água e pH

A avaliação dos parâmetros hidroquímicos na foz do estuário do rio Paracauari (estação fixa) permitiu visualizar modificações na dinâmica de cada parâmetro em relação à flutuação do nível da maré no decorrer dos períodos chuvoso, intermediário e menos chuvoso.

A temperatura da água nas regiões tropicais é elevada e apresenta uma grande estabilidade temporal, uma vez que depende grandemente do período e grau de insolação e variações meteorológicas, sendo estas condicionadas por períodos de

maior ou menor nebulosidade (Flores Montes, 1996). Assim, na foz do estuário do rio Paracauari, a temperatura na coluna d'água apresentou-se bastante homogênea, com média de 28,56°C e amplitude de 0,50 °C no período chuvoso; média de 28,68 e amplitude de 1,50 °C no intermediário e média de 28,79 °C e amplitude de 2,50 °C no menos chuvoso (Figura 32). Além disso, não foram observadas estratificações térmicas em nenhum dos períodos, o que pode está relacionada ao grande volume de água descarregada, à grande turbulência causada pelo vento e pelas correntes de maré (Santos et al. 1986).

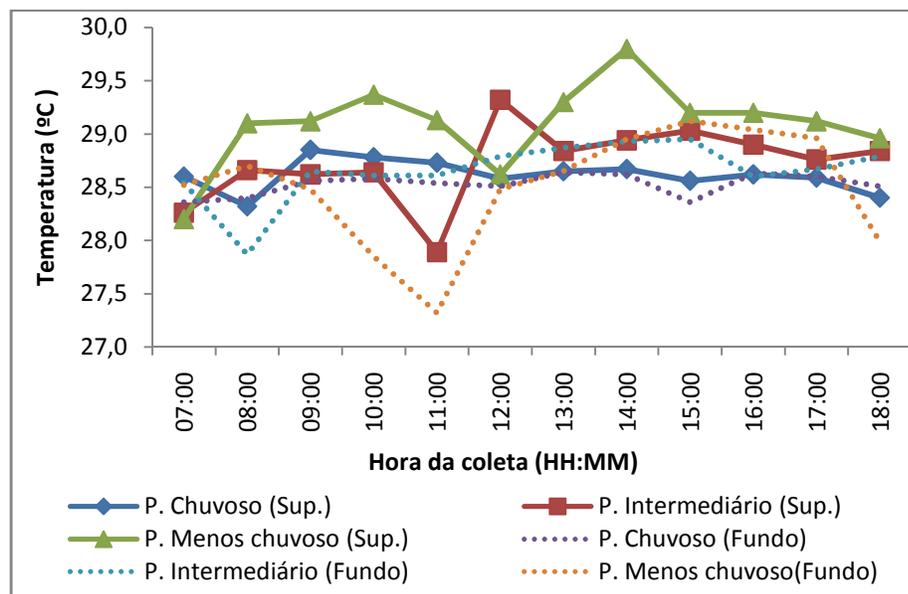


Figura 32: Variação de temperatura na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari durante os períodos chuvoso, intermediário e menos chuvoso

Os valores de pH na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari apresentam-se ácidos durante o período chuvoso, com média de 6,55; enquanto que durante os períodos intermediário e menos chuvoso apresentou-se alcalino, com média de 7,19 e 7,63 respectivamente (Figura 33).

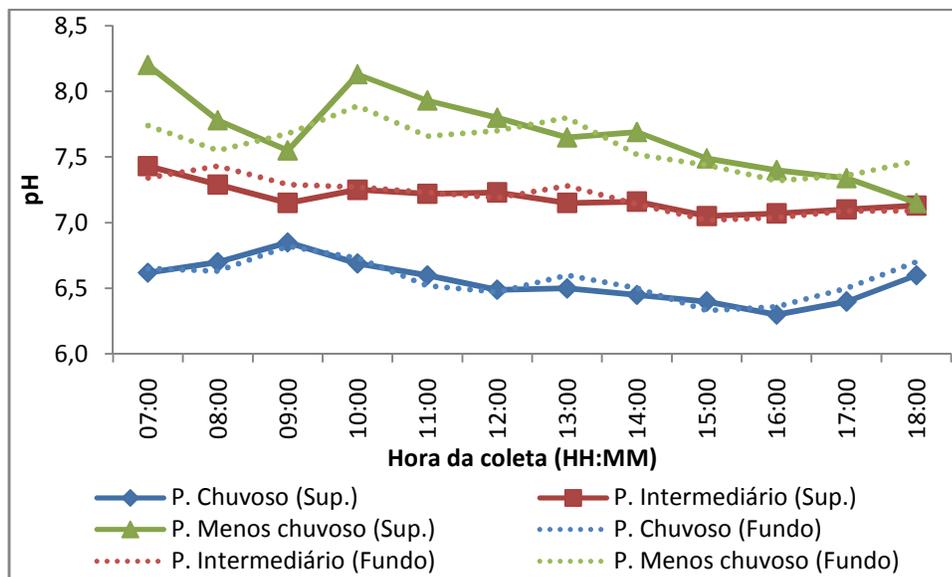


Figura 33: Variação de pH na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari durante os períodos chuvoso, intermediário e menos chuvoso

Durante o período chuvoso os valores superficiais e de fundo de pH foram semelhantes, apresentando o máximo de 6,80 que ocorreu uma hora antes da preamar, e o mínimo de 6,30 uma hora antes da baixa-mar (Figura 34 a). Nesse período do ano, as águas apresentam-se ácidas, provavelmente, devido à influência do material em suspensão nas águas de rios amazônicos ricas em argila e ácidos húmicos oriundos da decomposição de matéria vegetal (Lima & Kobayashi, 1988).

Durante o período intermediário os valores de pH superficiais e de fundo apresentaram o seu máximo de 7,43 na maré enchente e o mínimo de 7,02 na maré vazante (Figura 34 b). No período menos chuvoso, os valores mais elevados de pH foram observados nas águas superficiais, sendo o máximo de 8,02 durante a maré enchente e o mínimo de 7,15 na maré vazante. As águas de fundo, também apresentaram o mesmo comportamento, sendo o máximo de 7,89 e o mínimo de 7,32 (Figura 34 c).

Tanto no período intermediário quanto no menos chuvoso, com a redução dos índices pluviométricos, ocorre o maior aporte de águas oceânicas sobre as águas continentais no estuário, tornando o pH desse corpo aquoso alcalino.

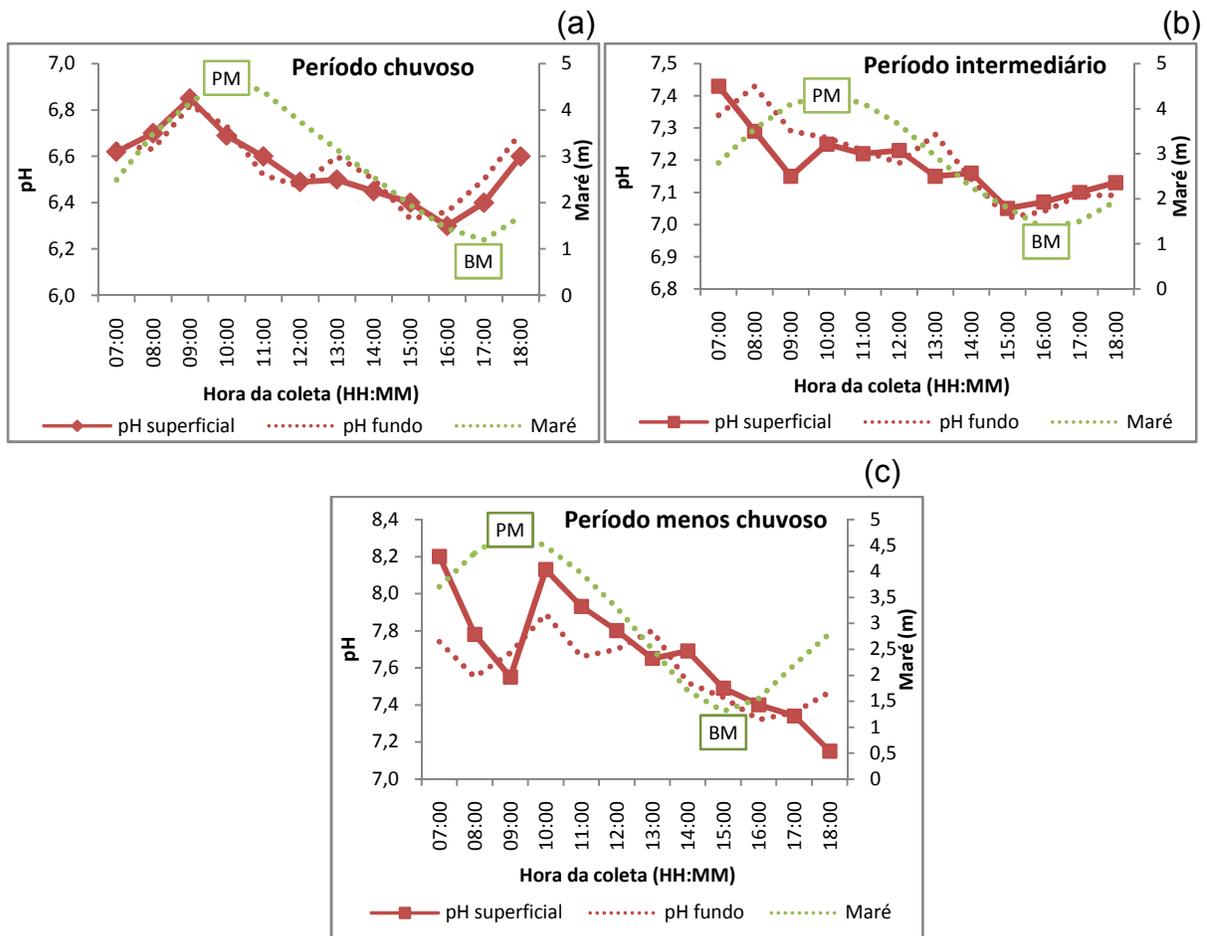


Figura 34: Variação diária de pH na estação fixa no rio Paracauari durante: a) período chuvoso, b) período intermediário e c) período menos chuvoso.

6.2.2 Condutividade elétrica, salinidade e sólidos totais dissolvidos

A condutividade elétrica na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari apresentou média de 92 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período chuvoso, 3670 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no intermediário e 12302 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no menos chuvoso. A salinidade apresentou média de 0,04 no período chuvoso; de 1,94 no intermediário e de 7,03 no menos chuvoso. Por fim, os TDS apresentaram média 46,33 mg/L no período chuvoso, de 1785,25 mg/L no intermediário e 6157,16 mg/L no menos chuvoso (Figura 35). Os três parâmetros analisados apresentaram uma dinâmica semelhante, com um aumento gradual ao longo do ano.

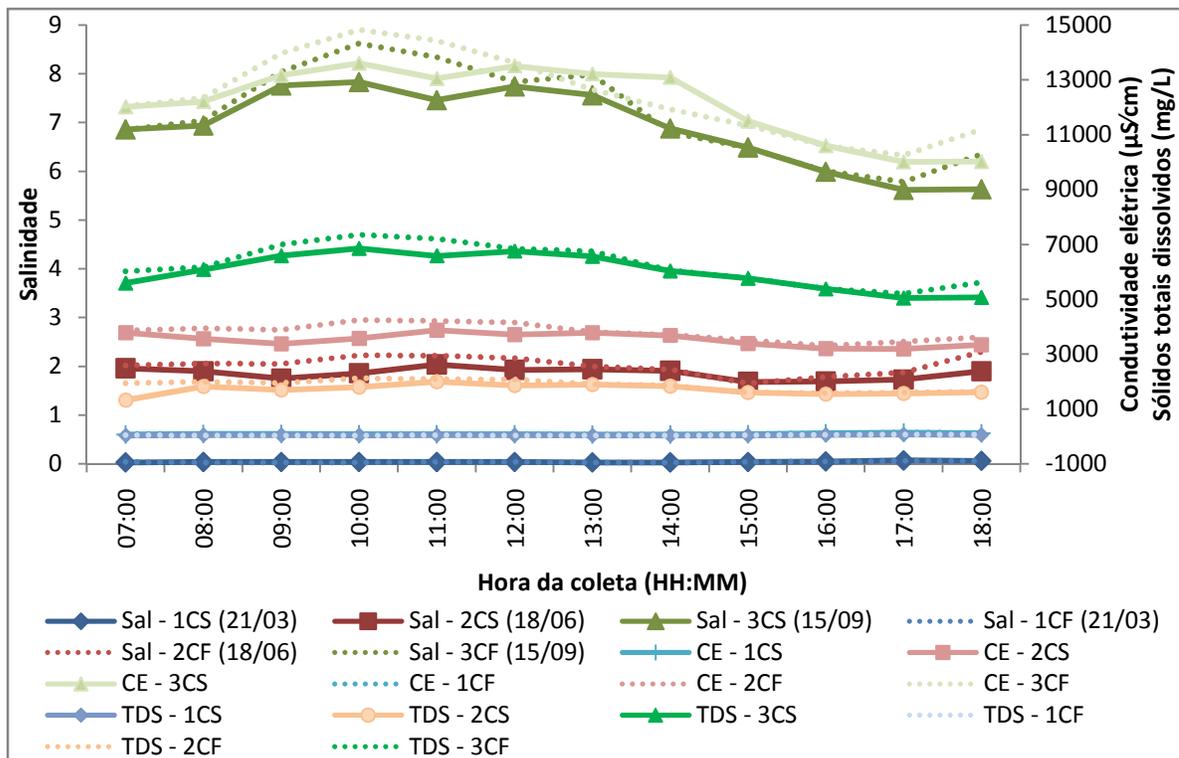


Figura 35: Variação de CE, salinidade e TDS na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari

1CS, 2 CS e 3 CS (1^a, 2^a e 3^a campanha – amostragem superficial, respectivamente);
1CF, 2 CF e 3 CF (1^a, 2^a e 3^a campanha – amostragem no fundo, respectivamente)

Antes de descrever as variações da salinidade e da condutividade elétrica em cada período de coleta, é importante saber que esses parâmetros, no estuário, apresentam-se geralmente de maneira irregular, devido às grandes flutuações diárias de entrada e saída de água oceânica e continental. O padrão de distribuição esperado para ambos os parâmetros no estuário são valores elevados na preamar e mais baixos na baixa-mar. Isso ocorre porque, durante a preamar, há uma penetração de águas marinhas no estuário, em sentido oposto ao fluxo do rio, efeito este denominado de “maré salina”.

Em seguida, ao analisar separadamente o comportamento da CE, da salinidade e dos TDS em cada período de amostragem, pode-se afirmar que durante o período chuvoso os três parâmetros apresentaram um comportamento inverso à variação do nível da maré, sendo o valor máximo de 142 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de CE, 0,07 de salinidade e 71

mg/L de TDS ocorridos durante a baixa-mar, e os valores mínimos de 72 de CE, 0,03 de salinidade e 36 mg/L de TDS na preamar (Figura 36 a e b).

Durante o período intermediário houve uma pequena conformidade entre as variações de CE, salinidade, TDS e nível da maré no rio Paracauari. Os máximos desses parâmetros nas águas de fundo ocorreram durante a preamar, sendo o máximo de 4241 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de CE, 2,23 de salinidade e 2117 mg/L de TDS, enquanto que os máximos nas águas superficiais foram observados uma hora após a preamar, sendo de 3871 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de CE, 2,04 de salinidade e 1993 mg/L de TDS. Os valores mínimos nas águas de fundo foram encontrados durante a baixa-mar, sendo de 3309 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de CE, 1,65 de salinidade e 1579 mg/L de TDS, já nas águas superficiais, os mínimos ocorreram uma hora após a baixa-mar, sendo de 3189 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de CE, 1,68 de salinidade e 1325 mg/L de TDS (Figura 36 c e d).

Por fim, durante o período menos chuvoso houve uma concordância nítida entre as variações de CE, salinidade e TDS em função da variação do nível da maré, sendo que os três parâmetros analisados ocorreram uma hora após a preamar nas águas de fundo. Assim, os valores mais elevados nas águas de fundo foram: 14830 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de CE, 8,62 de salinidade e 7359 mg/L de TDS; e nas águas superficiais foram: 13610 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de CE, 7,83 de salinidade e 6859 mg/L de TDS. Já os valores mínimos dos três parâmetros foram observados duas horas após a baixa-mar, sendo os mínimos de fundo igual a 10260 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de CE, 5,78 de salinidade e 5212 mg/L de TDS; e os valores mínimos superficiais foram de 10010 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de CE, 5,52 de salinidade e 5047 mg/L de TDS (Figura 36 e e f).

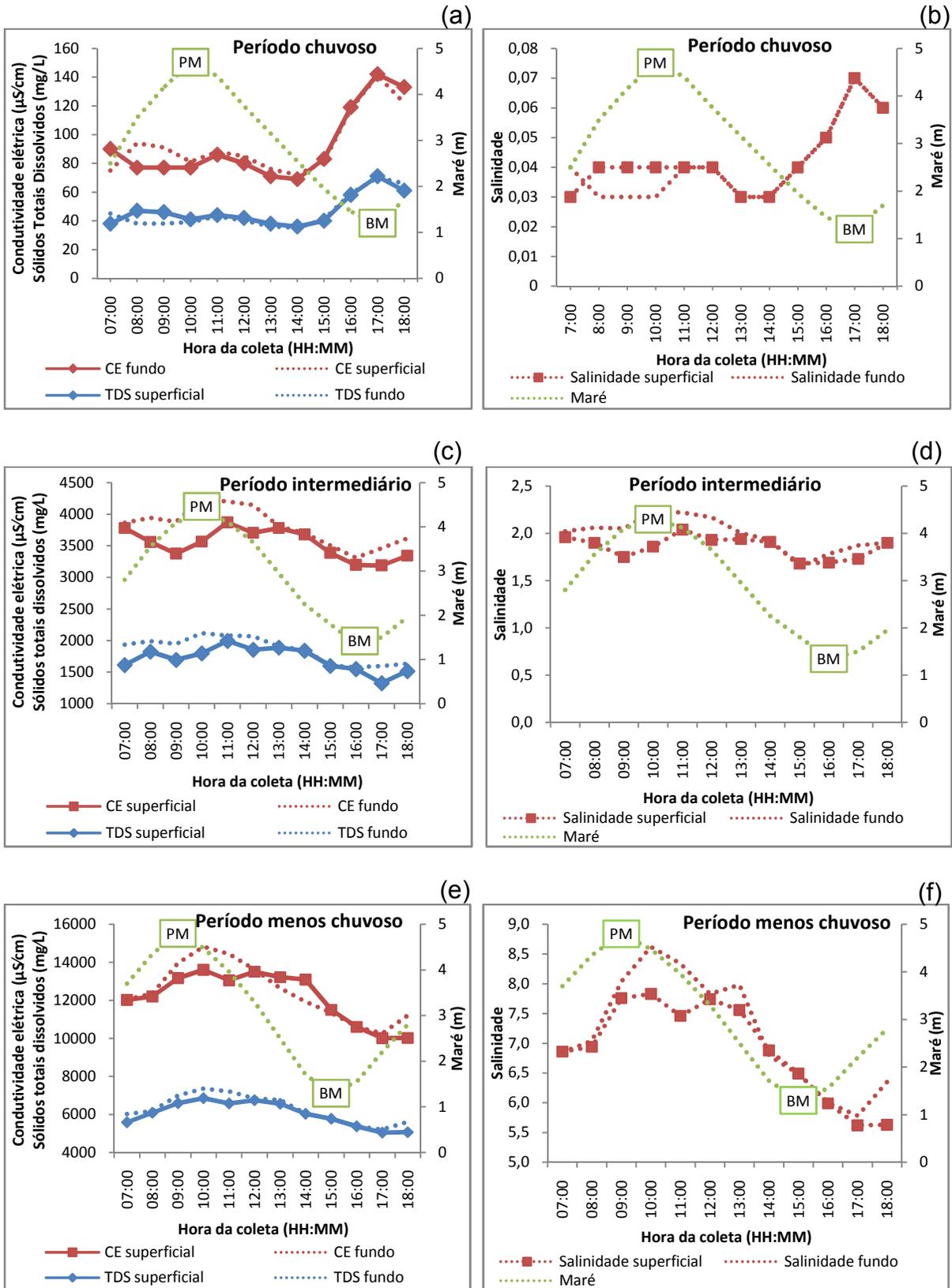


Figura 36: Variação diária de CE, TDS e salinidade na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari: a,b) período chuvoso, c,d) período intermediário e e,f) período menos chuvoso

É válido ressaltar que o comportamento da condutividade elétrica, salinidade e sólidos totais dissolvidos foram homogêneos durante o período chuvoso, não apresentando variações na coluna d'água, sendo os valores superficiais semelhantes aos de fundo, o que evidencia o elevado grau de mistura dessas águas. Além disso, durante este período, os três parâmetros são controlados principalmente pelas águas continentais, o que explica os baixos valores observados. Enquanto que, durante o período intermediário e menos chuvoso, observou-se valores de CE, salinidade e TDS mais elevados quando comparados aos do período chuvoso e, além disso, nota-se uma pequena variação dos três parâmetros na coluna d'água, sendo os máximos nas águas de fundo durante a maré enchente, o que pode ser justificado pela entrada das águas salobras provenientes da baía do Marajó.

6.2.3 Transparência e material em suspensão

Durante a amostragem na foz do estuário do rio Paracauari a transparência da água apresentou os menores valores (média de 11,91 cm) durante o período chuvoso; e os maiores (média de 42,50 e 46,25 cm) durante os períodos intermediário e menos chuvoso, respectivamente (Figura 37 a).

A transparência da água variou de 8,0 cm a 62,00 cm durante os três períodos, com mínimo de 8,0 cm, registrado no período chuvoso na maré vazante e o máximo de 70 cm no período menos chuvoso durante a maré enchente.

Diferentemente, os valores de material em suspensão apresentaram a maior média de 70,22 mg/L durante o período chuvoso, e as menores de 44,12 e 37,81 mg/L no período intermediário e menos chuvoso, respectivamente.

Durante o período chuvoso a máxima concentração de material em suspensão foi de 100,00 mg/L na superfície e de 103,00 mg/L no fundo durante a maré vazante e os mínimos foram de 41,33 mg/L na superfície uma hora antes da preamar e de 57,00 mg/L no fundo uma hora após a baixamar (Figura 37 b). No intermediário os valores máximos foram de 50,01 mg/L na superfície e 156,00 mg/L no fundo durante a maré vazante e os mínimos foram de 20,00 mg/L na superfície e 28,66 mg/L no fundo na

maré vazante (Figura 37 c). Por fim, no período menos chuvoso as concentrações máximas foram de 55,00 mg/L na superfície e 87,33 mg/L no fundo uma hora após a baixa-mar e os mínimos foram de 12,00 e 19,22 mg/L na superfície e no fundo, respectivamente durante a maré enchente (Figura 37 d).

O material particulado em suspensão apresenta maiores concentrações durante o período chuvoso, em decorrência das elevadas quantidades de partículas oriundas das rochas e do material orgânico que são lixiviados durante esse período em consequência dos elevados índices pluviométricos. No período menos chuvoso, contudo, o decréscimo nas concentrações desse parâmetro, possivelmente, é devido à diminuição dos índices pluviométricos e à desestabilização coloidal resultante da entrada de águas salinas no sistema estuarino.

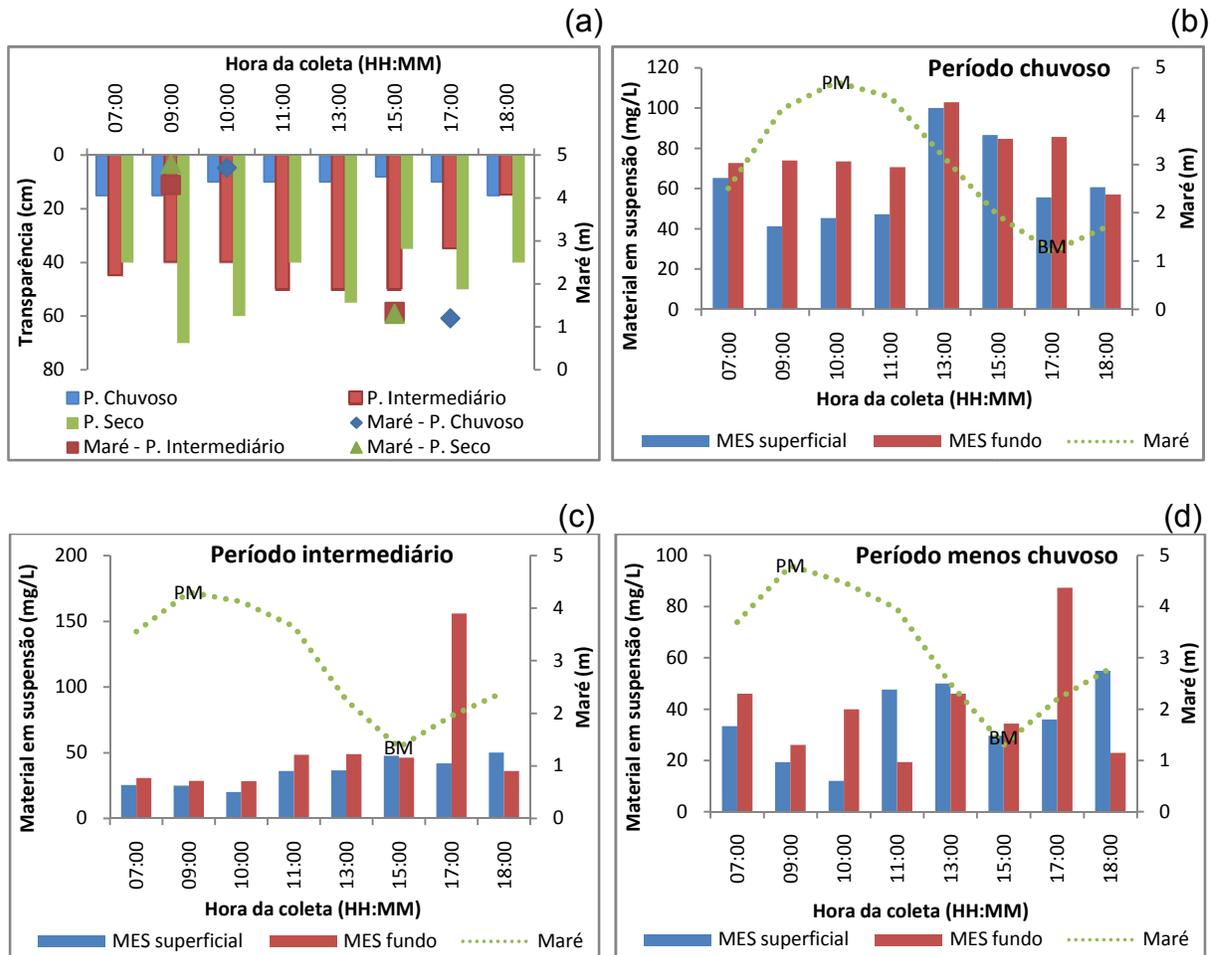


Figura 37: a) Variação diária de transparência; Variação diária de material em suspensão na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari: b) período chuvoso, c) período intermediário e d) período menos chuvoso

6.2.4 Oxigênio dissolvido

Na foz do estuário do rio Paracauari, as concentrações de oxigênio dissolvido apresentaram médias de 3,57 mg/L no período chuvoso, 4,97 mg/L no intermediário e 6,46 mg/L no menos chuvoso (Figura 38).

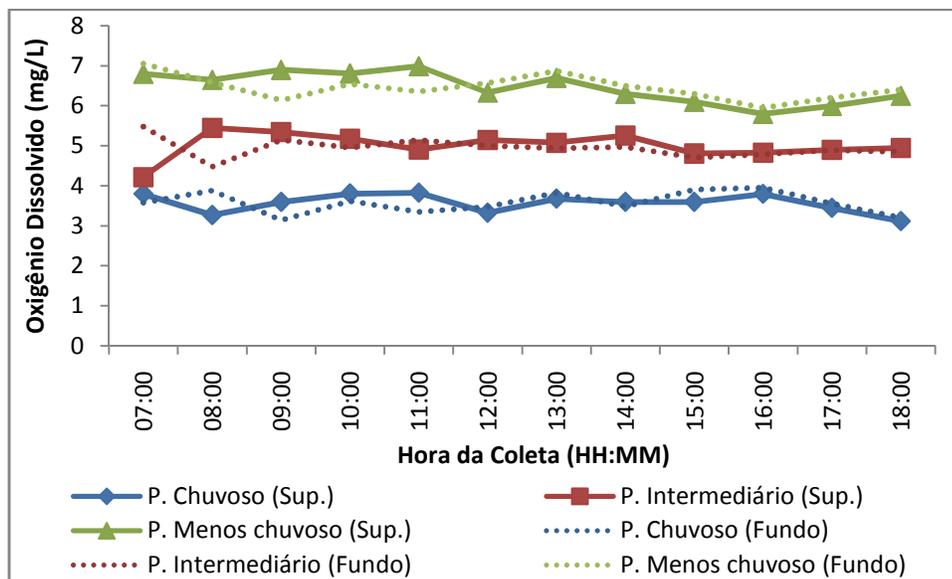


Figura 38: Variação de oxigênio dissolvido na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari no período chuvoso, intermediário e menos chuvoso

Durante o período chuvoso, observou-se uma conformidade entre o nível da maré e a curva de concentração de OD. As águas superficiais apresentaram o máximo de OD igual a 3,83 mg/L uma hora após a preamar e o mínimo de 3,12 mg/L uma hora após a baixa-mar. Já nas águas de fundo, ocorreu o inverso, sendo o máximo de OD igual a 3,22 mg/L uma hora antes da baixamar e o mínimo de 3,14 mg/L uma hora antes da preamar (Figura 39 a).

O déficit de oxigênio dissolvido durante este período pode está associado à demanda biológica de oxigênio, devido à grande carga de material em suspensão que é transportada pelas águas desse estuário. Isso é um fato comum aos estuários tropicais (Sankaranarayanan & Qasim, 1969, Qasim & Sankaranarayanan, 1972, Epifanio et al., 1983, Upadhyay, 1988, Eyre & Twigg, 1997).

No período intermediário, a curva de concentração de OD apresenta uma relação inversa com a do nível da maré. Os valores máximos e mínimos da coluna d'água (superfície e fundo) ocorreram nas duas primeiras horas de coleta, as 07:00 h e as 08:00 h durante a maré enchente. O valor máximo superficial de 5,48 mg/L e o mínimo de fundo de 4,48 mg/L ocorreram as 8:00h, enquanto que o valor mínimo superficial de 4,22 mg/L e o máximo de fundo de 5,48 ocorreram as 7:00h. Durante a maré enchente

as concentrações de OD ora são maiores nas águas superficiais, ora nas águas de fundo, já durante a maré vazante, principalmente a partir das 12:00 h, as concentrações de OD são máximos sempre nas águas superficiais, porém com variações desprezíveis (Figura 39 b).

Durante o período menos chuvoso, houve uma concordância entre as variações de OD e de maré. O máximo nas águas superficiais foi de 6,99 mg/L ocorrido uma hora após a preamar, e o máximo de fundo foi 7,05 durante a maré enchente. Já os mínimos ocorreram uma hora após a baixa-mar, sendo o mínimo superficial de 5,8 mg/L e o de fundo igual a 5,95 mg/L (Figura 39 c). Durante este período, há maior penetração das águas marinhas bem oxigenadas no estuário. Assim, as concentrações de oxigênio são elevadas durante a maré cheia e diminuem com o nível da maré (Lara & Dittman, 1999). Além disso, supõe-se, que as concentrações desse gás são máximas durante o período de maior insolação, devido à produção primária.

Em relação à baixa variabilidade das concentrações de oxigênio dissolvido na coluna d'água (superfície e fundo), pode-se supor que é provocada pela grande turbulência gerada pelas correntes de marés, agitação gerada pelos ventos e descarga fluvial, oxigenando assim toda a coluna d'água (Figueiredo et al., 2006).

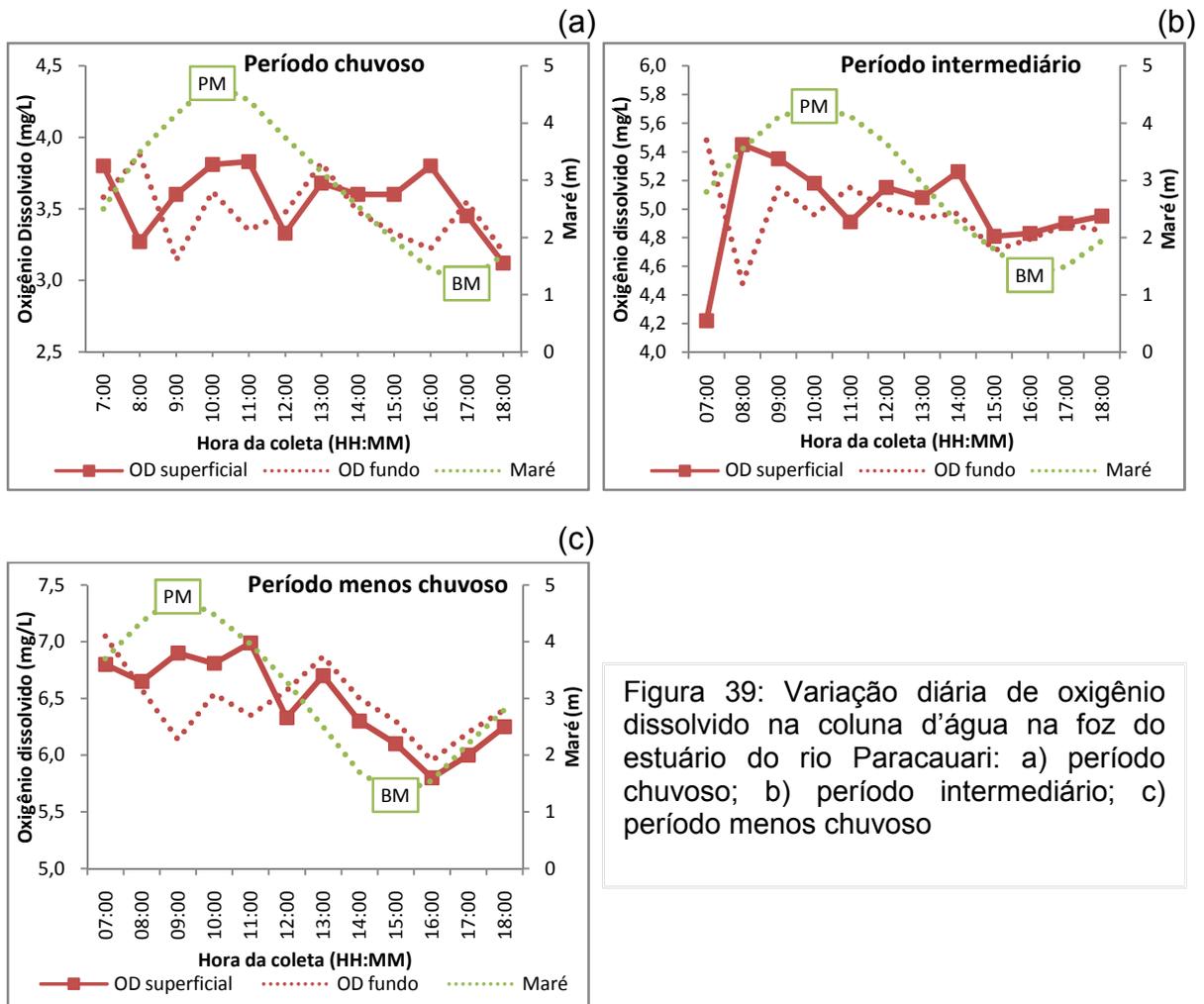


Figura 39: Variação diária de oxigênio dissolvido na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari: a) período chuvoso; b) período intermediário; c) período menos chuvoso

6.2.5 Nutrientes

Alexander et al. (1996) sugeriu que nas zonas costeiras os nutrientes variam principalmente com aumento do volume de água do estuário. Um aumento da frequência das chuvas, por exemplo, aumenta as concentrações de nutrientes no estuário através da lixiviação das áreas adjacentes (Mekong River Commission, 2005). Porém, no período menos chuvoso, com a redução no fluxo de água estuarina, há liberação de nutrientes a partir dos sedimentos de fundo.

Em relação à variação sazonal dos compostos nitrogenados (nitrato, nitrito e N-amoniaco) na foz do estuário do rio Paracauari, em geral, as concentrações desses compostos foram mais elevadas durante o período chuvoso em decorrência da intensa lixiviação provocada durante este período.

As concentrações de nitrato nas águas do estuário do rio Paracauari apresentaram conformidade entre a variação da maré, principalmente nos períodos intermediário e menos chuvoso (Figura 40 b e c). Nesses períodos, as concentrações mínimas de nitrato foram $0,32 \mu\text{M/L}$ durante a preamar; enquanto que as máximas foram de $3,87 \mu\text{M/L}$ durante a maré vazante. Já no período chuvoso, os máximos foram $9,35 \mu\text{M/L}$ tanto uma hora após a preamar, quanto durante a baixa-mar (Figura 40 a).

Durante o período menos chuvoso o próprio estuário funciona como fonte de nitrato, o qual é provavelmente produzido por processos microbiológicos nos sedimentos de fundo e transferidos para a coluna d'água. O mesmo processo provavelmente opera durante o período chuvoso, mas o aporte de água fluvial ou a remoção através de desnitrificação desfavorece a visualização deste processo (Eyre, 1994).

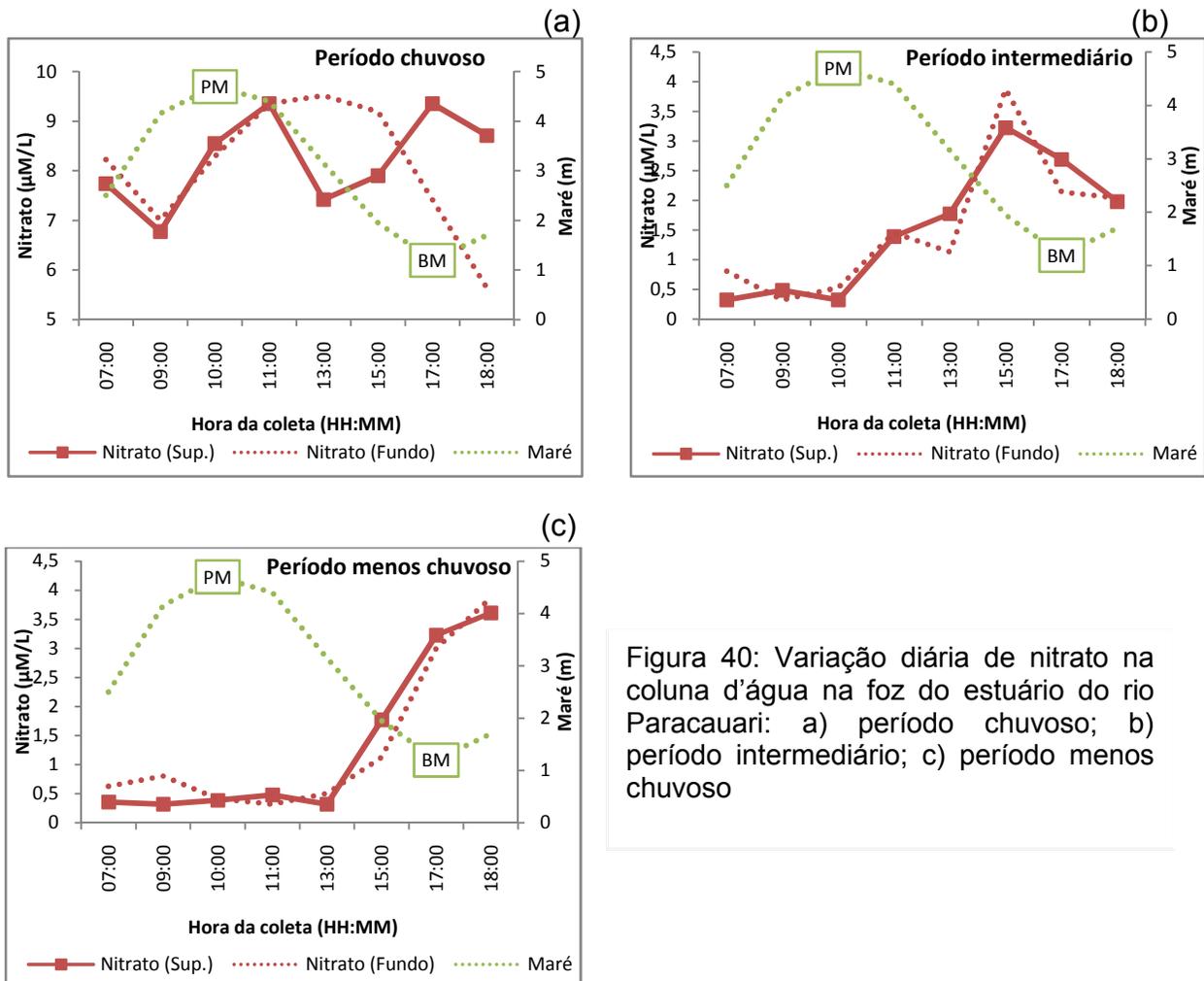


Figura 40: Variação diária de nitrato na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari: a) período chuvoso; b) período intermediário; c) período menos chuvoso

As concentrações de nitrito e a N-amoniacal correlacionaram-se com a maré, durante o período chuvoso. Sendo o mínimo de nitrito igual a zero e de N-amoniacal 0,05 $\mu\text{M/L}$ durante a maré enchente; e o máximo de ambos iguais a 0,10 $\mu\text{M/L}$ durante a baixa-mar (Figura 41 a). No período intermediário, as mínimas concentrações de nitrito foi 0,01 $\mu\text{M/L}$ na preamar e a máxima 0,03 $\mu\text{M/L}$ durante a maré vazante (Figura 41 b). Por fim, no período menos chuvoso, as concentrações de nitrito e N-amoniacal foram bastante oscilantes, porém, durante a maré enchente ocorreram os maiores valores: 0,09 $\mu\text{M/L}$ de nitrito e 0,46 $\mu\text{M/L}$ de N-amoniacal; e durante a maré vazante, os menores: 0,01 $\mu\text{M/L}$ de nitrito 0,20 $\mu\text{M/L}$ de N-amoniacal (Figura 41 c). Além disso,

nesse período, durante a baixa-mar, as concentrações de nitrito ($0,09 \mu\text{M/L}$) e de N-amoniacal ($0,61 \mu\text{M/L}$) de fundo, foram superiores as concentrações de superfície.

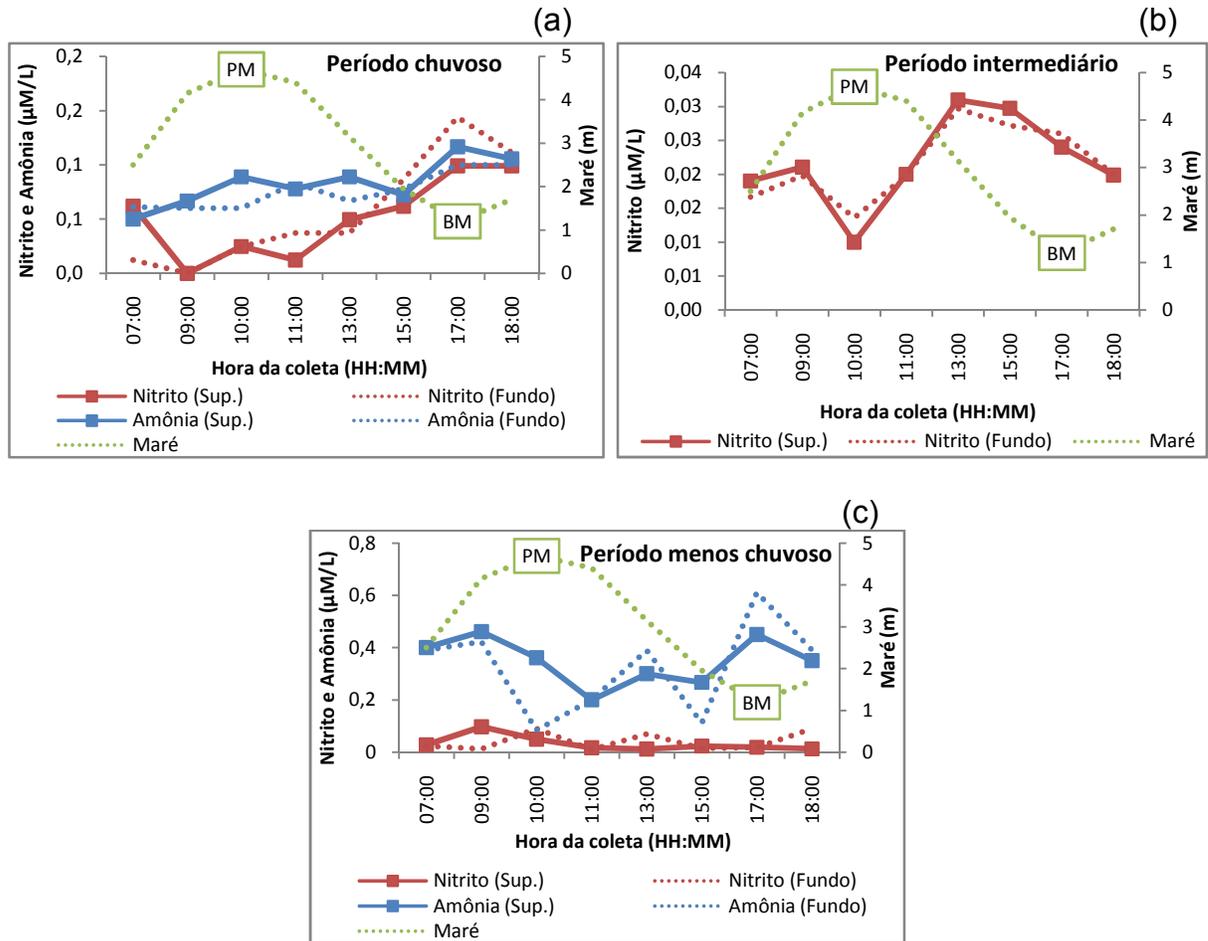


Figura 41: Variação diária de nitrito e N-amoniacal na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari: a) período chuvoso; b) período intermediário (N-amoniacal não analisada); c) período menos chuvoso

O fosfato variou entre $0,02$ e $0,80 \text{ mg/L}$ nos três períodos estudados, sendo as maiores concentrações no período chuvoso. Neste período, o comportamento desse parâmetro foi similar ao da variação da maré, sendo o máximo superficial de $0,72 \text{ mg/L}$ uma hora após a preamar e no fundo de $0,76 \text{ mg/L}$ durante a preamar; e o mínimo superficial e de fundo foi de $0,48$ e $0,38 \text{ mg/L}$, respectivamente, durante a maré vazante (Figura 42 a). No intermediário, a concentração máxima tanto superficial quanto de

fundo foi 0,8 mg/L uma hora antes da preamar e os mínimos de 0,3 mg/L na superfície e fundo, após a baixa-mar (Figura 42 b). Por fim, no período menos chuvoso, o máximo superficial foi de 0,48 mg/L durante a preamar e no fundo foi de 0,52 mg/L uma hora após a preamar; enquanto que os mínimos foram de 0,25 mg/L na superfície e fundo durante a baixa-mar (Figura 42 c).

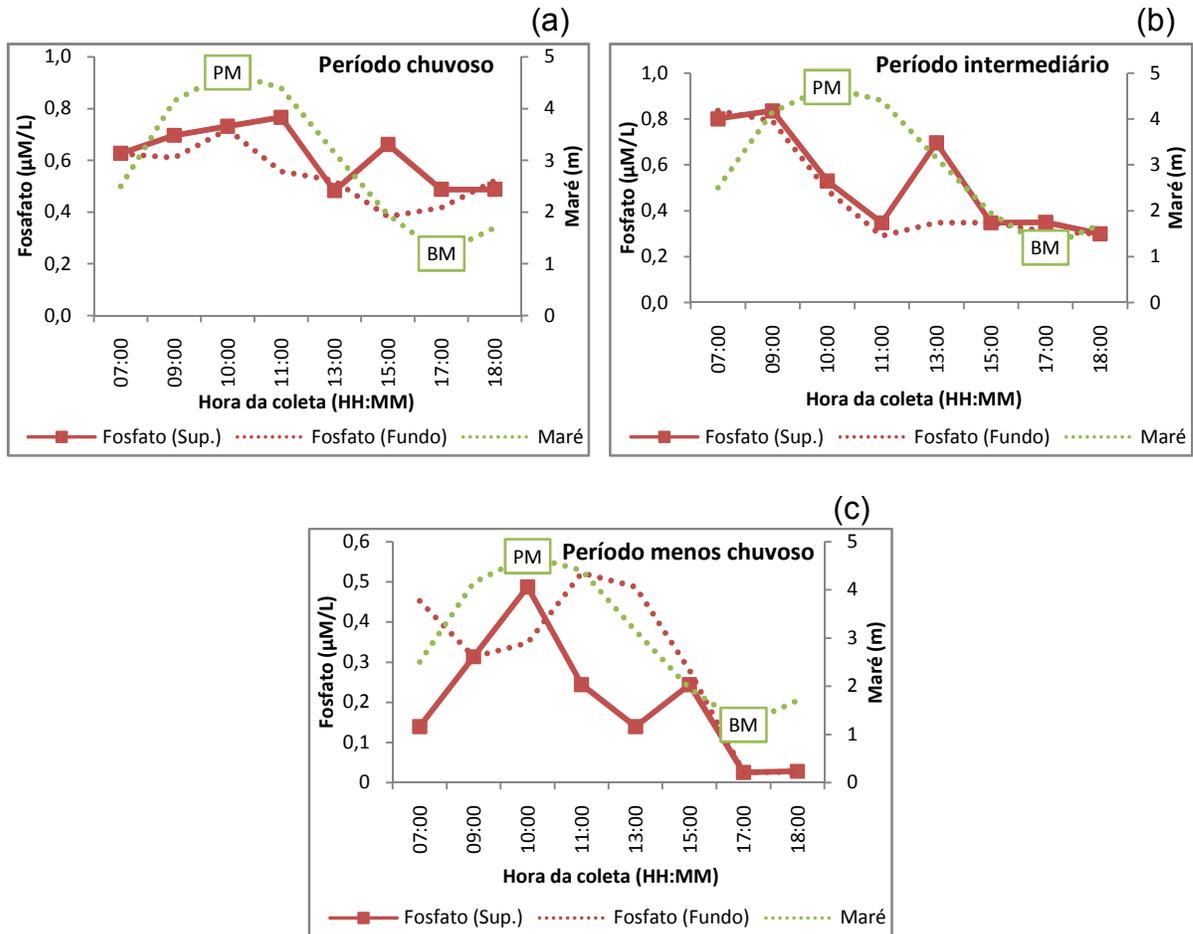


Figura 42: Variação diária de fosfato na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari: a) período chuvoso; b) período intermediário; c) período menos chuvoso

O silicato variou entre 15,93 e 81,35 mg/L nos três períodos estudados. No período chuvoso a concentração máxima superficial foi 81,35 mg/L e de fundo foi 76,93 mg/L uma hora após a preamar; os mínimos na superfície (36,82 mg/L) e no fundo (50,16) ocorreram durante a maré vazante (Figura 43 a). Já durante o período

intermediário, os mínimos tanto na superfície (21,49 mg/L) quanto no fundo (51,62 mg/L) ocorreram durante a maré enchente e os máximos de 80,40 mg/L superficial e 83,58 mg/L de fundo durante a maré vazante (Figura 43 b). Assim também, no período menos chuvoso, os valores mínimos foram de 15,93 mg/L na superfície e 20,50 mg/L no fundo durante a maré enchente e o máximo foi 42,65 mg/L na superfície e no fundo, durante a maré vazante (Figura 43 c).

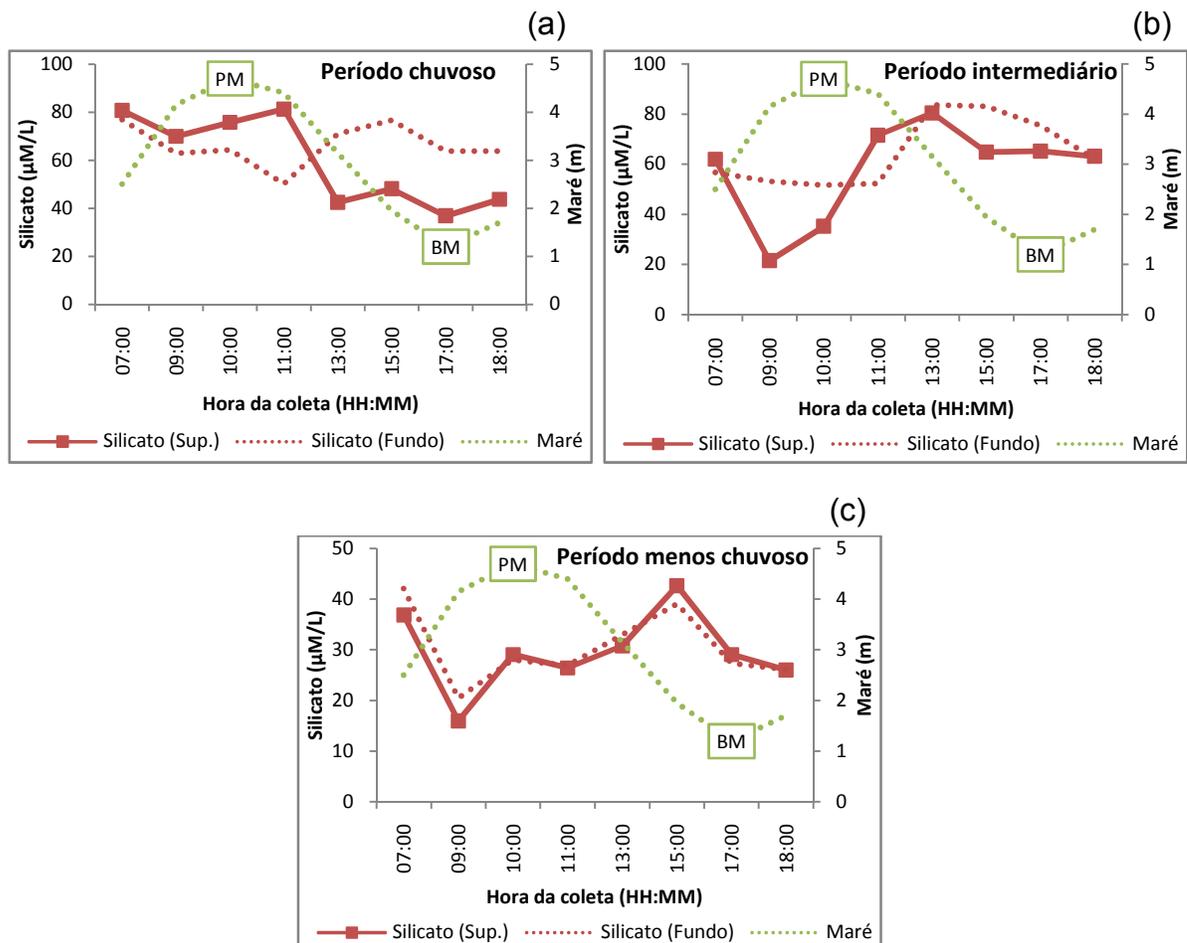


Figura 43: Variação diária de silicato na coluna d'água na foz do estuário do rio Paracauari: a) período chuvoso; b) período intermediário; c) período menos chuvoso

É importante ressaltar que a mudança nas concentrações de nutrientes e nas suas taxas pode afetar os ecossistemas estuarinos. Por exemplo, a variação na concentração de nutrientes pode influenciar as taxas da produção fitoplanctônica

(JUSTIC et al., 1995), que por sua vez pode levar a uma mudança na composição das espécies fitoplanctônicas offshore. Além disso, a disponibilidade de luz solar também é um fator crítico que afeta o crescimento fitoplanctônico (Fang et al. 2008).

No estuário do rio Paracauari, as elevadas concentrações de sedimentos em suspensão ocasionam baixas transparências da água (<60 cm). Como consequência, a luz solar passa a ser um fator mais limitante sobre o crescimento fitoplanctônico do que o conteúdo nutricional desse estuário.

Assim, durante a baixa-mar, a produtividade primária na foz do estuário do rio Paracauari é controlada principalmente pela irradiação solar, á que há maior influência das águas continentais ricas em nutrientes e em material em suspensão. Enquanto que durante a preamar, o fator controlador da produtividade primária é a concentração de nutrientes que decresce devido à influência das águas marinhas.

Esse conceito de limitação ora por luz solar ora por disponibilidade de nutrientes tem sido relatado em vários estudos (Filardo & Dunstan, 1985, Pennock & Sharp, 1986, Fisher et al., 1988).

6.3 CORRELAÇÕES ENTRE PARÂMETROS

Antes de se aplicar qualquer teste estatístico, os resultados foram organizados em uma planilha do programa Microsoft Excel conforme Anexo A - Tabela 2. Em seguida, utilizando o teste estatístico de análise de agrupamentos para os resultados médios obtidos nos três períodos (chuvoso, intermediário e menos chuvoso) ao longo do estuário do rio Paracauari, observou-se a formação de dois grandes grupos (Figura 44): Grupo 1 que abrange os resultados da primeira campanha realizada no período chuvoso (C); e o Grupo 2 referente aos resultados da segunda e terceira campanhas, realizadas no período intermediário (I) e menos chuvoso (MC).

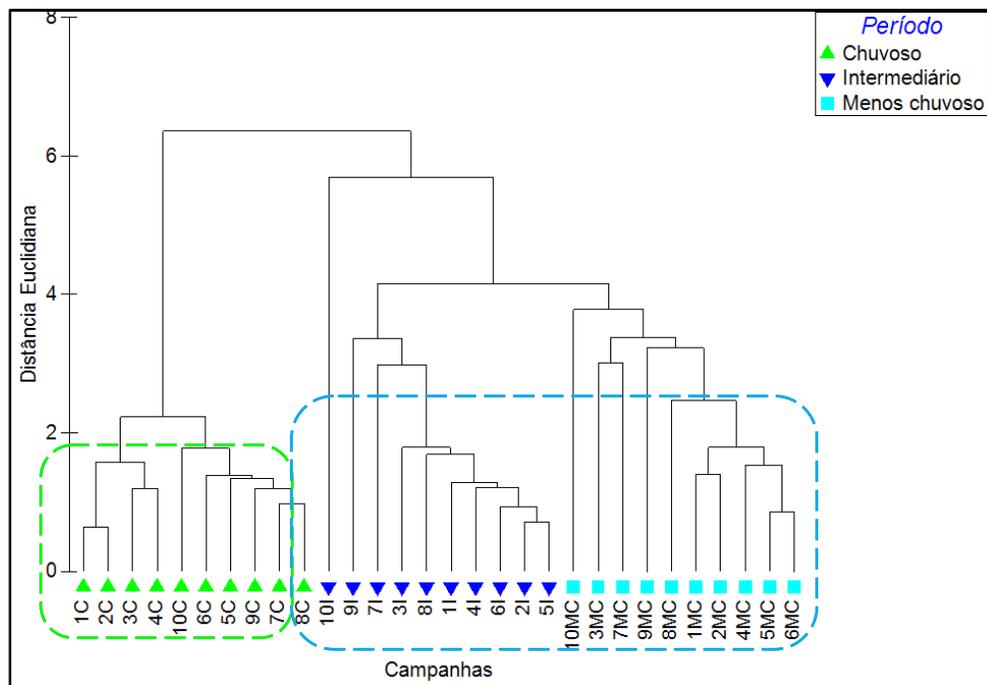


Figura 44: Análise de agrupamentos salientando a formação de dois grandes grupos: Grupo 1 (período chuvoso) – círculo pontilhado verde; Grupo 2 (período intermediário e menos chuvoso) – círculo pontilhado azul

Os dois grupos foram analisados separadamente ainda pelo mesmo teste de análise de agrupamento, para estabelecer as relações existentes entre as variáveis estudadas dentro de cada grupo. Observou-se que as variáveis se relacionaram de maneira diferente em cada grupo, evidenciando que a sazonalidade climática da região interfere nas correlações das variáveis abióticas ao longo do estuário do rio Paracauari.

Em seguida, a correlação de Spearman foi utilizada para descobrir o que determina o comportamento dos parâmetros abióticos nos dois grupos obtidos pela análise de agrupamento. Os resultados desta correlação (Anexo B, Tabela 3 e 4) foram comparados para avaliar o grau de relacionamento entre observações emparelhadas de duas variáveis para cada grupo individual.

Os resultados deste teste estatístico mostram que, no grupo 1 (período chuvoso), nitrito e N-amoniacal apresentaram correlação positiva com a salinidade (Figura 45a, b, respectivamente). Essa correlação não significa que as águas marinhas sejam uma fonte desse nutriente para o rio Paracauari, e sim que águas desse rio são

influenciadas pelo aporte tanto de sais quanto de nutrientes, retidos provavelmente nas áreas de várzea (a montante) que margeiam esse estuário.

Ainda neste grupo, o pH correlacionou-se negativamente com o nitrito e N-amoniacoal (Figura 45c, d, respectivamente). Sabe-se que o N-amoniacoal provém da desnitrificação, mas também da decomposição da matéria orgânica, a qual poderá provocar mudanças no pH. Assim, essa correlação sugere que processos de decomposição da matéria orgânica, principalmente a montante do rio, favorecem a diminuição do pH dessas águas, torna-as mais ácidas, além de liberar nutrientes para a coluna d'água.

O pH apresenta também apresentou correlação negativa com a salinidade (Figura 45 e), o que demonstra a inversão de comportamento desses parâmetros.

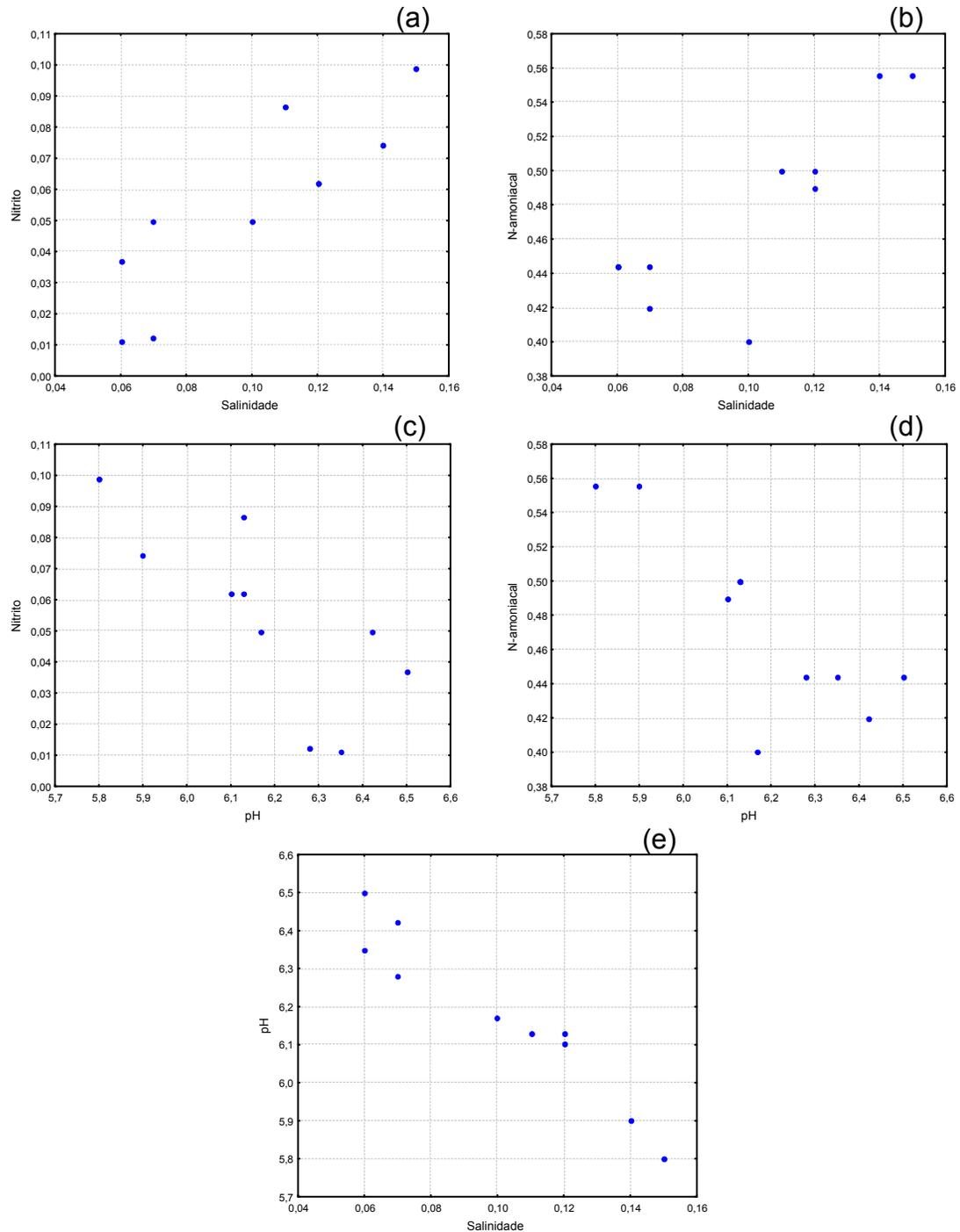


Figura 45: Correlação: a) positiva nitrito – salinidade; b) N-amoniaco – salinidade; c) correlação negativa nitrito – pH; d) N-amoniaco – pH; e) pH – salinidade durante o período chuvoso

No grupo 2 (período intermediário e menos chuvoso), o silicato apresentou correlação negativa com salinidade (Figura 46 a). Isso sugere que as concentrações

desse nutriente no estuário Paracauari são predominantemente determinadas pelas emissões das fontes de origem continental que são integradas e transferidas para os estuários através do fluxo fluvial (White et al. 2004). Estas emissões podem ser oriundas de fontes naturais, provavelmente localizadas em áreas a montante da bacia de drenagem.

Do mesmo modo, essa correlação linear negativa entre silicato e salinidade sugere que o comportamento não conservativo de nutriente neste estuário seja resultado de processos como a retenção deste elemento nos sedimentos estuarinos, a transformação em outras espécies químicas ou a fixação biológica (Pitkänen et al., 1993; Liu et al., 2005).

Nesse mesmo grupo, também se observou correlação positiva entre silicato e material em suspensão (Figura 46 b). Como já dito, o silicato é um forte indicador de aporte terrestre e de processos de diluição, assim, quanto maior a quantidade de material em suspensão, maiores são as quantidades desse nutriente na coluna d'água.

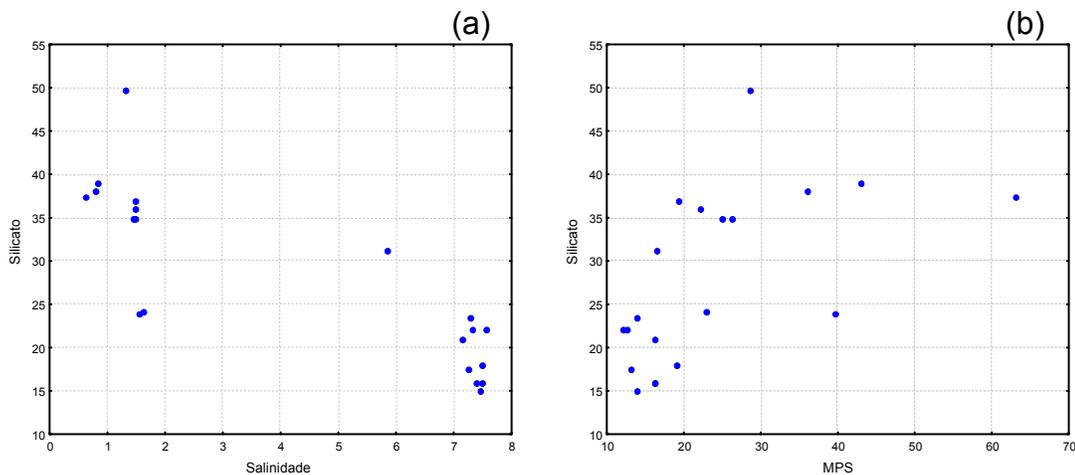


Figura 46: a) Correlação negativa silicato – salinidade; b) correlação positiva silicato – material particulado em suspensão durante o período intermediário e menos chuvoso

Através da análise de Kruskal-Wallis, identificou-se que para as seguintes variáveis: temperatura, salinidade, condutividade elétrica, pH, sólidos totais dissolvidos, transparência da água, material particulado em suspensão, oxigênio dissolvido, nitrato, fosfato e silicato a hipótese de igualdade (H_0) deve ser rejeitada, ou seja, existe

diferença estatística significativa entre as médias dos parâmetros medidos nos três períodos de coleta de acordo com a variabilidade sazonal da região.

As correlações de pH, condutividade elétrica, salinidade, transparência e material particulado em suspensão apresentam um comportamento conservativo, ou seja, estão sujeitos tão somente aos processos de diluição e mistura da água salgada com a água doce. Enquanto que parâmetros como oxigênio dissolvido, N-amoniacal, nitrito, nitrato, fosfato e silicato se comportam de maneira não-conservativa, logo estão sujeitos ao consumo biológico pelo fitoplâncton e bactérias.

A representação gráfica de Box Whisker permite uma comparação visual da distribuição sazonal dos parâmetros abióticos estudados nos períodos chuvoso, intermediário e menos chuvoso no estuário do rio Paracauari (Figura 47 e 48). O gráfico de caixa é estreitamente relacionado com a medida da mediana, onde os quartis dividem conjuntos ordenados em 4 partes iguais, sendo que: a altura das caixas representa a distância interquartil, sobre a qual se encontra a maioria dos resultados (25%-75%); o ponto central, a mediana; e, as extremidades das duas linhas, o valor mínimo e máximo.

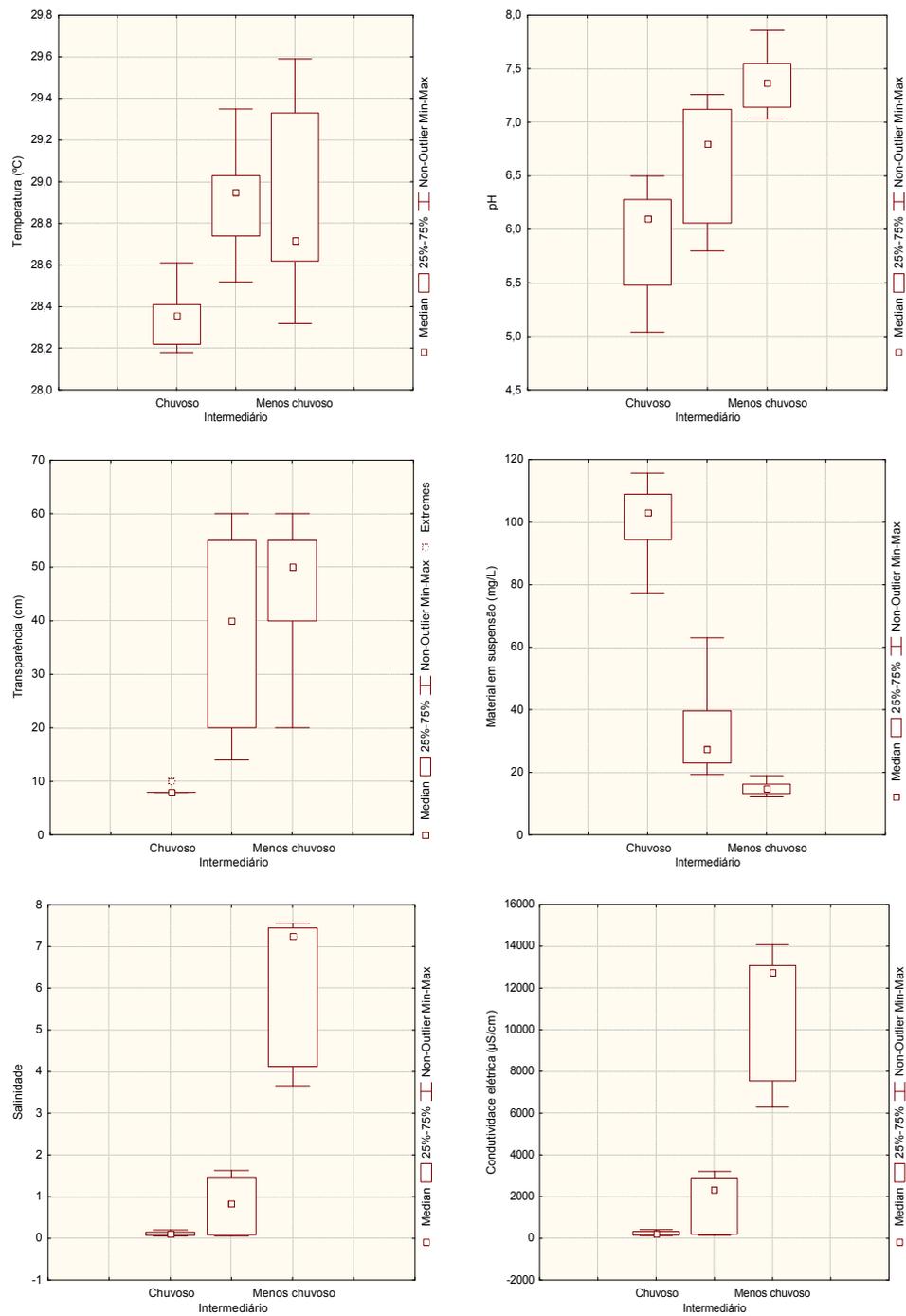


Figura 47: Representação gráfica tipo Box Whisker para salientar a distribuição diferenciada dos parâmetros: T, pH, transparência da água, MPS, Sal. e CE medidos entre as campanhas.

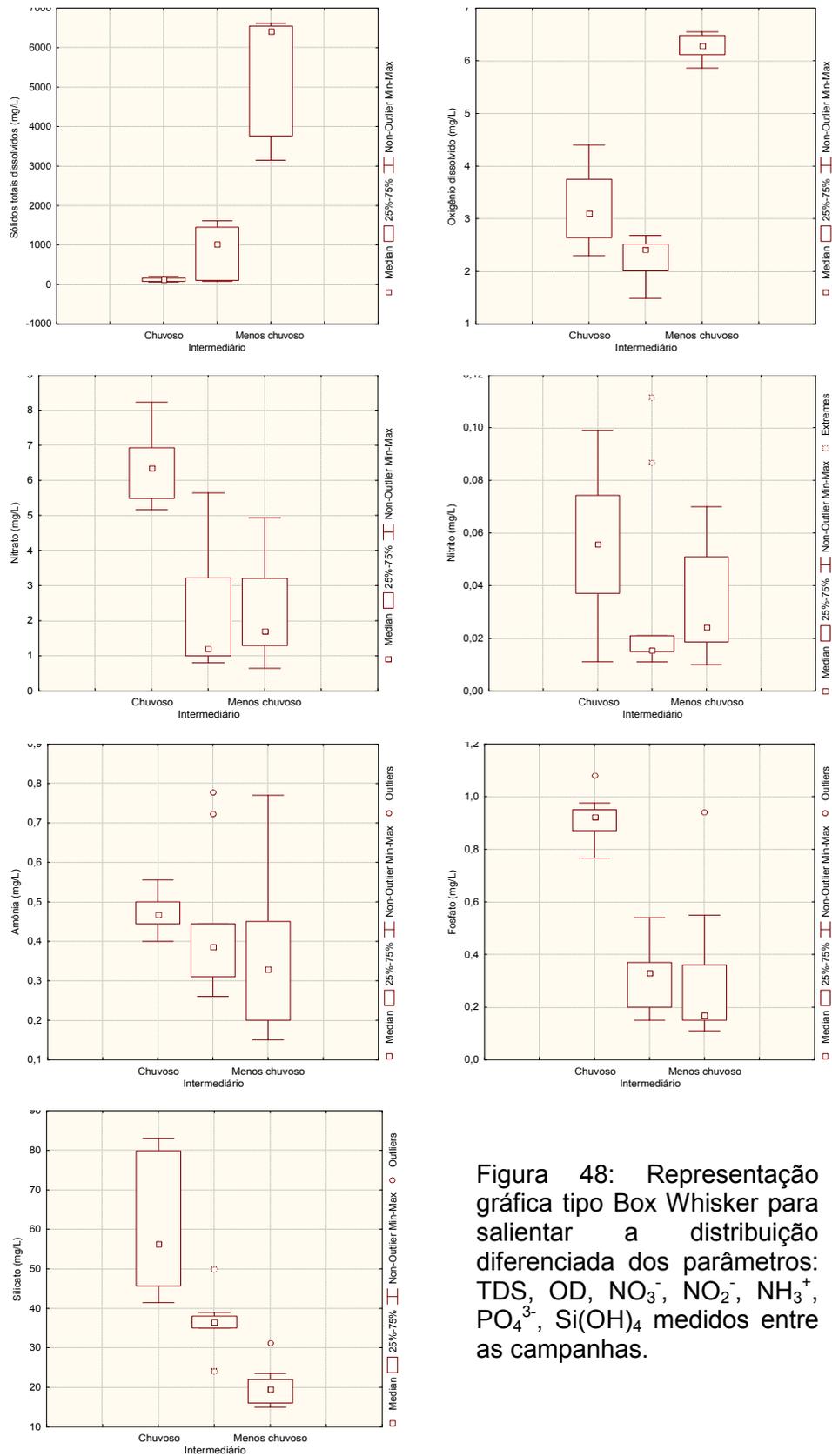


Figura 48: Representação gráfica tipo Box Whisker para salientar a distribuição diferenciada dos parâmetros: TDS, OD, NO_3^- , NO_2^- , NH_3^+ , PO_4^{3-} , Si(OH)_4 medidos entre as campanhas.

6.4 DISCUSSÃO FINAL

Segundo critérios geológicos, o estuário do rio Paracauari pode ser classificado como um estuário de planície costeira, de acordo com a definição de Pritchard (1967). A circulação nesse estuário apresenta um comportamento nitidamente regulado por marés, podendo assim ser classificado como dominado por maré, segundo Davis; Hayes (1984). Em relação à distribuição vertical de salinidade, não se constatou diferenças marcantes nas estações as quais foram possíveis aferir a salinidade em toda coluna d'água, sendo possível classificar esse estuário como verticalmente homogêneo, segundo a classificação de Pritchard (1955). Apesar da homogeneidade vertical, observou-se que esse estuário é "segmentado" (apresenta variações longitudinais) em relação aos principais parâmetros estudados.

Foi necessário um levantamento das variáveis que influenciam as águas desse estuário. Os parâmetros estudados variam em escala temporal de acordo com as estações do ano em associação com o clima da região amazônica. Esta variação é mais nítida durante o período chuvoso, pois ocorre um máximo de entrada alóctone através do escoamento superficial e sub-superficial. Além disso, verificaram-se alterações longitudinais nos parâmetros analisados e na dinâmica das zonas do estuário do rio Paracauari as quais são controladas principalmente pela descarga fluvial, pelos efeitos da precipitação, do vento, da maré, das correntes de maré, pela influência do manguezal e da várzea, das águas costeiras da Baía do Marajó e, no caso dos nutrientes essenciais, podem-se considerar também as trocas com a atmosfera. Para esse estuário foi possível identificar essa gama de fatores que interrelacionados influenciam a distribuição dos parâmetros abióticos nessas águas, porém a importância relativa de cada fator é difícil de ser quantificada, devido à falta de observação e à natureza complexa dos processos e da interação entre eles.

Através dos resultados analíticos obtidos, entretanto, pode-se propor que o suprimento de nitrogênio, fósforo e silício é feito principalmente pela descarga fluvial e pela liberação do sedimento sendo que esses parâmetros comportaram-se de forma não conservativa, na dependência direta de processos biológicos realizados pela biomassa fitoplanctônica na zona eufótica, ou por processos físicos, como advecção.

Em relação à escala de concentração desses nutrientes observou-se que no ambiente estudado, o silicato foi o mais concentrado seguido pelo nitrato, depois pelo fosfato e por fim pelo N-amoniaco e nitrito. Essa escala de concentração também foi observada por Noriega et al. (2005) no sistema estuarino de Barra das Jangadas (Pernambuco – Brasil). Apesar da descarga do rio ter a tendência de aumentar fortemente as concentrações de N-amoniaco, na área estudada este fato não foi tão evidenciado, o que pode ser indicativo do aumento do processo de oxidação (Noriega et al., 2005). A redução nas concentrações de N-amoniaco também são consequência da assimilação pelo fitoplâncton. Carpenter & Dunham (apud Feitosa, 1988), analisando o estuário do rio Carmans (Long Island, USA) verificaram que a amônia dentre os nutrientes nitrogenados também foi à preferida pelo fitoplâncton e que o nitrato só foi assimilado quando a concentração de amônia apresenta-se igual ou inferior a $2,00\mu\text{M.L}^{-1}$.

A condutividade elétrica, os sólidos totais dissolvidos e a salinidade foram influenciados principalmente por águas oceânicas da Baía do Marajó, o oxigênio dissolvido pelas trocas com a atmosfera e produção primária, e o material em suspensão pela ação das correntes de maré, sendo considerado um dos principais fatores controladores da produtividade primária em áreas costeiras e estuarinas (Millero & Sohn, 1992).

Por fim, este trabalho propõe de uma maneira experimental uma comparação entre o estuário do rio Paracauari e o modelo estuarino proposto por Kjervfe (1987). Esse modelo estuarino considera as variações na salinidade da água e subdivide o estuário em três zonas: Zona de Rio, Zona de Mistura e Zona Costeira, delimitadas pelo rio e pelo oceano (Figura 50).

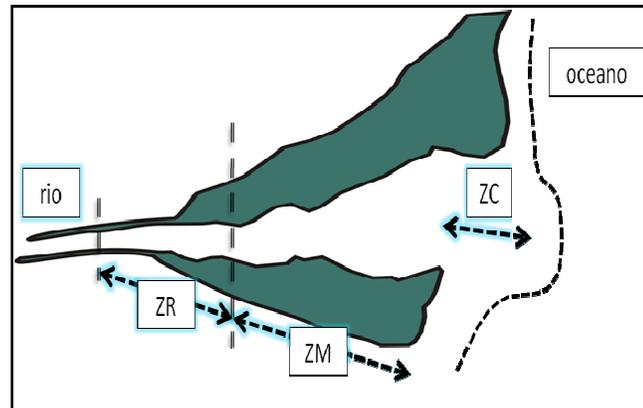


Figura 49: Modelo estuarino proposto por Kjerve (1987), adaptado de Miranda & Castro (2002)

No estuário do rio Paracauari, a alta descarga fluvial durante o período chuvoso faz com que este estuário apresente-se como uma Zona de Rio (com salinidade $<1,0$) (Figura 51a), já que a Zona de mistura pode ter sido advectada da região semifechada para a Zona Costeira; no período intermediário foi possível identificar uma Zona de Mistura de aproximadamente 8 km de comprimento a partir da foz e, em seguida, a Zona de Rio (Figura 51b); por fim, no período menos chuvoso, as águas marinhas penetram este estuário aproximadamente 40 km em, caracterizando assim este trecho de Zona de Mistura, desde a foz até a cabeceira (Figura 51c). Essa penetração da água salina no estuário, tanto no período intermediário quanto no menos chuvoso, é favorecida pela diminuição da descarga fluvial e pela baixa declividade do estuário.

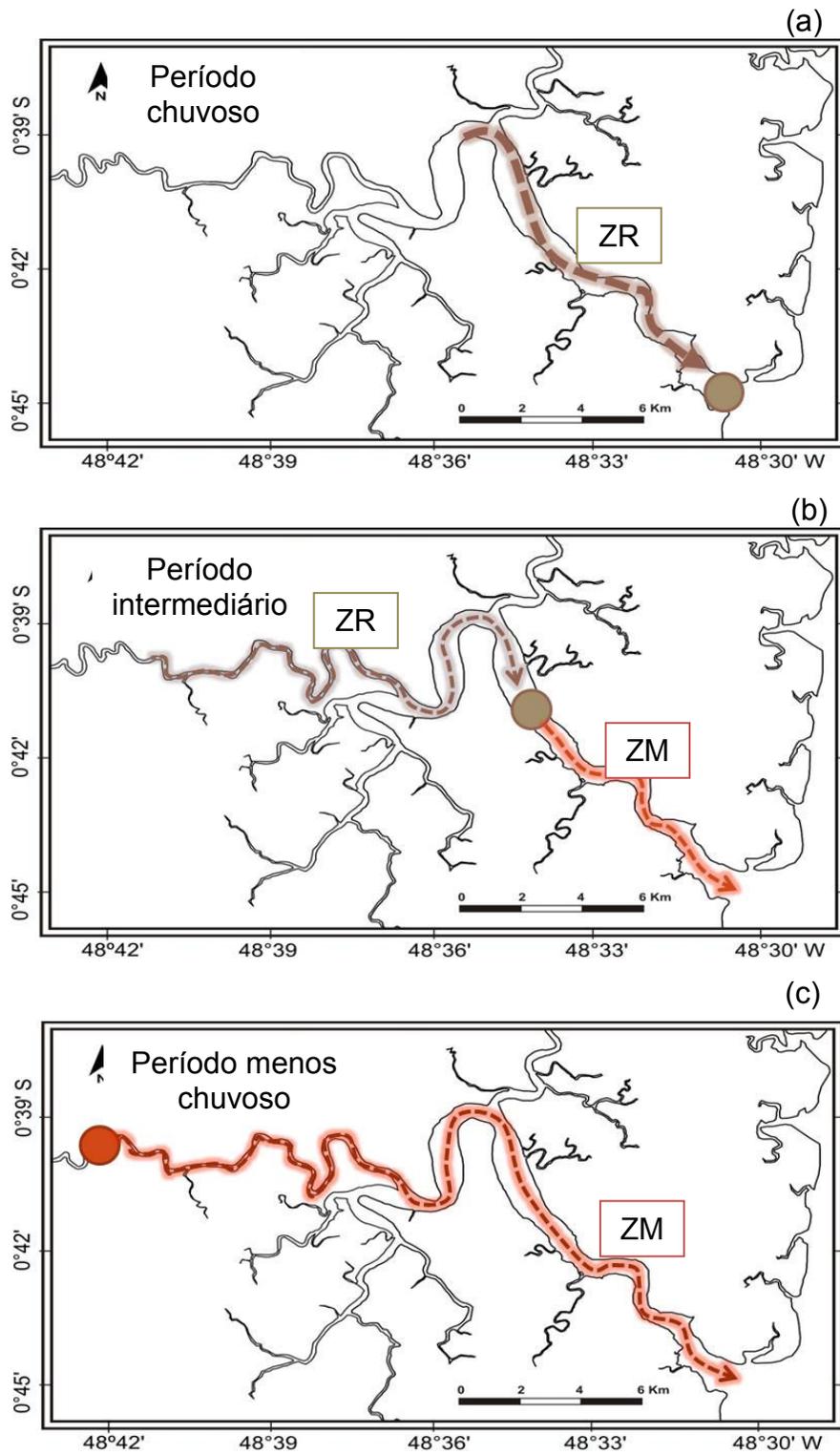


Figura 50: Variação nas zonas estuarinas do rio Paracauari: a) Período chuvoso, b) Período intermediário, c) Período menos chuvoso

7 CONCLUSÃO

No estuário do rio Paracauari, há uma variação dos parâmetros estudados em escala temporal de acordo com as estações do ano em associação com o clima da região amazônica, além de variações longitudinais influenciadas principalmente pela descarga fluvial, pelos efeitos da precipitação, do vento, da maré e das correntes de maré. Essas variáveis fazem com que o estuário apresente-se “segmentado” durante os períodos analisados (chuvoso, intermediário e menos chuvoso) com relação aos principais parâmetros analisados.

Nesse estuário a amplitude média de maré foi de 3,5, classificadas como mesomares, semidiurnas. No período chuvoso ocorrem as marés dinâmicas e no intermediário e menos chuvoso ocorrem as marés salinas.

A temperatura da água ao longo do ano, em geral, apresentou uma variação de 1,5°C, confirmando a homogeneidade térmica dessas águas e que a variação sazonal apresenta pouca influência na temperatura das águas do estuário do rio Paracauari, entretanto, podendo ser influenciada pelo horário e a profundidade local.

O pH apresentou mudanças sazonais, sendo que os máximos de pH ocorreram durante o período menos chuvoso em consequência da redução do efeito acidificante do gás carbônico livre e dissolvido, e os mínimos ocorreram no período chuvoso devido, em grande parte, à presença de ácidos orgânicos. Alterações longitudinais também foram verificadas nos três períodos amostrados, em geral, ocorrendo o aumento nas áreas com maior influência de águas marinhas.

As variações diárias de pH ocorreram tanto em função da maré quando em função da atividade primária, a qual ocorre principalmente durante as horas de maior incidência solar e tem como consequência o consumo do gás carbônico.

A grande concentração de material em suspensão provocou um aspecto barrento nas águas desse estuário além de influenciar diretamente na transparência da água, a qual variou de 8 a 63 cm nos três períodos, sendo os máximos durante o período menos chuvoso. Em relação à variação diária, nos três períodos, as concentrações máximas de MPS ocorreram durante a maré vazante, enquanto que as maiores transparências da água ocorreram durante a maré enchente.

Durante o período menos chuvoso, as maiores transparências da água estuarina propiciaram a intensa atividade fotossintética que influenciaram diretamente na elevação das concentrações de oxigênio dissolvido. Esse parâmetro, porém, variou longitudinalmente sendo as mínimas concentrações observadas à montante do estuário devido ao seu consumo tanto nos processos respiratórios quanto na degradação da matéria orgânica.

As concentrações máximas de nutrientes dissolvidos ocorreram durante o período chuvoso, devido ao aporte natural proveniente das áreas adjacentes. No período menos chuvoso, a maior penetração das águas marinhas, mais transparentes, e as menores cargas de material particulado em suspensão proveniente das águas continentais, favorecem a produção fitoplanctônica, a qual consome os nutrientes dissolvidos disponíveis no meio e tornam as águas mais oxigenadas, além de provocar mudanças no pH das águas desse estuário. Em geral, os nutrientes dissolvidos analisados apresentam um padrão não conservativo, sendo a N-amoniacal, fosfato e silicato removido em toda porção do estuário, podendo ser sugerido que estes nutrientes dissolvidos foram os que mais influenciaram o desenvolvimento fitoplanctônico.

Na estação fixa, durante meio ciclo de maré, os parâmetros analisados apresentaram um comportamento senoidal em função da maré. Contudo, durante o período de maior incidência solar e elevadas transparências da água, a intensa atividade primária provoca uma redução nas concentrações de nutrientes dissolvidos e uma elevação nas concentrações de oxigênio dissolvido.

A condutividade elétrica, os sólidos totais dissolvidos e a salinidade apresentaram as mínimas médias durante o período chuvoso e intermediário, e máximo no menos chuvoso principalmente nos pontos próximos a foz. Desta forma, as águas do estuário do rio Paracauari são influenciadas pelas águas continentais durante o período chuvoso e pelas marinhas durante o intermediário e menos chuvoso, sendo que neste último as águas marinhas penetram nesse estuário cerca de 40 km em relação à foz.

Considerando os índices de salinidade, o estuário apresentou-se verticalmente homogêneo e sugere-se que nos períodos chuvoso e intermediário suas águas são classificadas como oligohalinas e no menos chuvoso como mesohalinas.

Ainda em relação à salinidade, o estuário apresentou-se como: uma Zona de Rio no período chuvoso; uma Zona de Mistura de aproximadamente 8km seguida pela Zona de Rio no período intermediário; e uma Zona de Mistura de aproximadamente 40km da foz a cabeceira desse estuário durante o período menos chuvoso.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. W. M. 2007. **Aplicação do Modelo Hidrodinâmico no Estuário do rio Caeté (NE do Pará)**. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 149 p. (Dissertação de Mestrado).
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2007. **Região Hidrográfica Amazônica**. Brasília, Disponível em: <http://www.ana.gov.br/mapainicial/pgMapaA.asp>. Acesso em: 15 mai. 2007.
- AGUIAR, A. N. L. et al. 2003. Características químicas e físico-químicas da água superficial do estuário do rio Marapanim, região nordeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 9., Belém. **Livro de resumos expandidos**. Belém: SBGq, 2003. p. 335- 337.
- ALEXANDER, R. B., MURDOCH, P. S. & SMITH, R. A. 1996. Streamflow-induced variations in tributaries to the Atlantic coastal zone. **Biogeochemistry**. v. 33, n. 3, p. 149–77.
- ALMEIDA, S. S. 1995. Ecossistemas de manguezal na Amazônia: Uma abordagem ecológica sobre a presença humana, a flora e a fauna. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi**, n. 1, p. 1-15.
- ALONGI, D. M. 1996. The dynamics of benthic nutrient pools and fluxer in tropical mangrove forests. **Journal of Marine Research**. v. 54, p. 123-148.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1995. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington: Library of Congress. 21st Ed.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1992. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 18. ed. Washington: Estados Unidos, 1193p.
- AMINOT, A. & CHAUSSEPIED, M. **Manuel des analyses chimiques em milieu marin**. CNEXO. BREST-FRANCE, 1983. 395 p.
- AVELINE, L.C. 1980. Fauna dos manguezais brasileiros. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, n. 42, p. 786-821.

- BARBOSA, C. C. F. et al. 2003. Caracterização espectral das massas d'água amazônicas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENRORIAMENTO REMOTO, 11. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, v. 11, p. 2419 – 2425.
- BARBOSA, G. V. et al. 1974. Geomorfologia. In: BRASIL. Projeto Radam. **Folha SA. 22 Belém.** Rio de Janeiro: DNPM, v. 5, p. 1-36.
- BARBOSA, L. P. F. 2007. **Aplicação da modelagem hidrodinâmica na circulação do estuário do rio Maracanã (NE do Pará).** Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 148 p. (Dissertação de Mestrado).
- BARTHEM, B. R. 1985. Ocorrência, distribuição e biologia dos peixes da Baía de Marajó, Estuário Amazônico. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi**, ser. Zool., v. 2, n. 1, p:49-69.
- BAUMGARTEN, M.G.Z. et al. 1996. **Manual de análises em Oceanografia Química**, Editoras FURG/Pallotti, 142 p.
- BAUMGARTEN, M. G. Z. & POZZA, S. A. P. 2001. **Qualidade de águas** - Descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental, Editora FURG, Rio Grande, Brasil, 164p.
- BEMERGUY, R. L. 1982. **Estudo sedimentológico dos paleocanais da região do Rio Paracauari, Ilha de Marajó - Estado do Pará.** Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 95 p. (Dissertação de Mestrado).
- BERMEGUY, R. L. 1978. **Projeto Marajó.** Relatório de compilação bibliográfica. Núcleo de ciências geofísicas e geológicas. 32 p.
- BERREDO, J. F. et al. 2003. Qualidade da água superficial da baía do Guajará, Belém – Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 9., Belém. **Livro de resumos expandidos.** Belém: SBGq, p. 332-335.
- BERREDO, J. F.; COSTA, M. L. 2002. Modificações sazonais nas propriedades físico-químicas de manguezais do estuário do rio Marapanim, nordeste do Pará. In: Workshop ECOLAB. **CD-ROM.** Belém.
- BIGGS, R. B. **Sources and distribution of suspended sediment in Northern Chesapeake Bay.** v. 9. p. 187-324. 1970.

- BOTO, K. G. & WELLINGTON, J. T. 1988. Seasonal variations in concentrations and fluxes of dissolved organic and inorganic materials in a tropical, tidally-dominated, mangrove waterway. **Marine Ecology Progress Series**. v. 50, p. 151-160.
- BRADLEY, E. & PHILIP, B. 1999. A comparative study of nutrient behavior along the salinity gradient of tropical and temperate estuaries. **Estuaries**. v. 22, n. 2A, p. 313-326.
- BRAGA, E. S. et al. 2000. Eutrophication and bacterial pollution caused by industrial and domestic wastes at the Baixada Santista estuarine system Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 40, n.2, p. 165- 173.
- BRASIL. 1974. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radam. **Folha SA. 22 Belém**: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM.
- CARVALHO, Z. L. 2002. **Caracterização geoquímica de sedimentos de fundo nas proximidades do distrito de Icoaraci-PA**. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 75 p. (Dissertação de Mestrado).
- CAVALCANTI, G. M. L. 1979. **Geofísica aplicada a prospecção de água subterrânea na área do rio Paracauari – Ilha do Marajó – Pará**. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 88 p. (Dissertação de Mestrado).
- CHESHIRE, H. M. et al. 1985. **Monitoring estuarine water quality from Landsat TM**. International Conference on Advanced Technology for Monitoring and Processing Global Environmental Data, London U.K., p. 10–12.
- CHESTER, R. 1993. **Marine Geochemistry**. London: Unwin Hyman, 698 p.
- CLARK, R. B. 2001. **Marine Pollution**. Oxford: University Press. 5^a ed.
- COELHO, P. A. 1976. **Biogeografia e bionomia dos crustáceos decápodos reptantes do litoral equatorial do Brasil**. Universidade Federal de Pernambuco. (Tese de doutorado).
- COHEN, M. C. L. 1998. **Nutrientes e outros fatores relacionados à produção primária nas águas do manguezal de Bragança-PA**. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 111 p. (Dissertação de Mestrado).
- COHEN, M. C. L. et al. 2004. Mangrove inundation and nutrient dynamics from a GIS perspective. **Wetlands Ecology and Management**, v. 12, n. 2, p. 81-86.

- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). 2007. **Variáveis de Qualidade das Águas**. São Paulo. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp>. Acesso em: 05 out. 2007.
- CORDEIRO, C. A. 1987. **Estudo da salinização do estuário do rio Pará no trecho Belém – Mosqueiro**. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 109 p. (Dissertação de Mestrado).
- CORRÊA, I. C. S. 2005. Aplicação do diagrama de Pejrup na interpretação da sedimentação e da dinâmica do estuário da Baía de Marajó-PA. Instituto de Geociências, UFRGS. Porto Alegre, RS - Brasil. **Pesquisas em Geociências**. v. 32, n. 2, p. 109-118.
- CORREA, P. R. S. et al. 1974. Solos. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radam. **Folha Belém SA-22**. Rio de Janeiro: DNPM, p. 1-53. (Levantamento de Recursos Naturais, 5).
- COSTA, J. B. S. et al. 2002. Tectonics and paleogeography of the Marajó Basin, northern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 74, n. 3. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/aabc/v74n3/v74n3a13.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2008.
- COSTA, K. M. P. 1991. **Hidrologia e Biomassa Primária da Região Nordeste do Brasil entre as latitudes de 8°00'00"S e 2°44'30"S e as longitudes de 35°56'30"W e 31°48'00"W**. Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Tecnologia e Geociências. 217 p. (Dissertação de Mestrado).
- CUNHA, E.M.S. 1982. **Caracterização e Planejamento Ambiental do Estuário Potengui**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Biociências. 211 p. (Dissertação de Mestrado).
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R. 1976. **Hidrologia Subterrânea**. Barcelona: Ediciones Omega, v. 1.
- DAVIS, JR. R. A & HAYES, M. O. 1984. What is a wave-dominated coast? **Marine Geology**. v. 60, p. 313-329.
- DELFINO, I. B. 2006. **Geoquímica dos sedimentos superficiais de fundo do estuário do rio Maracanã, NE do Pará**. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 163 p. (Dissertação de Mestrado).

- DHN. 1976. Diretoria de Hidrografia e Navegação. **Roteiro - Costa Norte - Brasil**. Rio de Janeiro: DHN, 1-9, cap. II, p.: 43-125.
- DHN. 2001. Diretoria de Hidrografia e Navegação. **Tábua das Marés**. Marinha do Brasil. Disponível em: <http://www.mar.mil.br>. Acesso em: 3 fev. 2001; 20 fev. 2001; 13 jun. 2001; 30 ago. 2001; 5 nov. 2001.
- DITTMAR, T. et al. 2001. River or mangrove? Tracing major organic matter sources in tropical Brazilian coastal waters. **Marine chemistry**, v. 73, n. 3-4, p. 253-271 (2 p.).
- DREVER, J. I. 1982. **The geochemistry of natural waters**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- EDMOND, J. M. et al. 1983. Biological uptake and accumulation of silica on the Amazon continental shelf. **Geochimica et Cosmochimica Acta**. v. 71, p. 1713-1723.
- EISMA, D. 1993. **Suspended matter in the aquatic environment**. Springer-Verlag, Berlin, 313p.
- ELETROBRÁS. 1988. **Atlas do potencial eólico nacional**. Rio de Janeiro: Fundação Padre Leonel Franca, Centrais Elétricas Brasileiras, Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/atlas_eolico_brasil/atlas_potencial.zip. Acesso em: 23 fev. 2008.
- EPIFANIO, C. E. et al. 1983. Seasonal changes in nutrients and dissolved oxygen in the Gulf of Nicoya, a tropical estuary on the Pacific coast of Central America. **Hydrobiologia**, v. 101, p. 231-238.
- ESTEVEZ, F. de A. 1998. **Fundamentos da Limnologia**. Rio de Janeiro: Editora Interciência/FINEP - 2º ed. 602 p.
- EYRE, B. 1994. Nutrient biogeochemistry in the tropical Moresby river estuary system north Queensland, Australia. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 39, p. 15-31.
- EYRE, B. D. & TWIGG, C. 1997. Nutrient behavior during post-flood recovery of the Richmond River Estuary northern NSW, Australia. **Estuarine Coastal and Shelf Science**. v. 44, p. 311-326.
- FAIRBRIDGE, R. W. 1980. The Estuary: its Identification and Geodynamic Cycle. In: OLAUSSON, E.; CATO, I (Ed.). **Chemistry and Biochemistry of Estuaries**. N. York: Wiley, p. 1-36.

- FANG, T. et al. 2008. Changes in nutrient uptake of phytoplankton under the interaction between sunlight and phosphate in the Changjiang (Yangtze) River Estuary. **Chinese Journal of Geochemistry**. v. 27. p. 161–170.
- FEITOSA, F. A. N. 1988. **Produção primária do fitoplâncton correlacionadas com parâmetros bióticos e abióticos na Baía do Pina (Recife, Pernambuco, Brasil)**. Universidade Federal de Pernambuco. 279 p. (Dissertação de Mestrado).
- FERNANDES, G. L. 1994. Sub-projeto fitoplâncton. In: LOPES, M. J. S.; FERNANDES, G. L.; MELO, O. T. **Estudos do plâncton (fito e zooplâncton) e de fatores físicos e químicos na região estuarina dos rios Anil e Bacanga, São Luís-MA**. São Luís: UFPA. FAPEMA. p. 37-56.
- FERREIRA, D. B. 2001. **Variação sazonal e intra-região do vento em superfície nos ecossistemas de floresta, manguezal e campo**. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 26 p. (Trabalho de Conclusão de Curso).
- FIGUEIREDO, J. A. et al. 2006. **Hidrologia e biomassa fitoplanctônica nas barras Orange e Catuama (canal de Santa Cruz), em Itamaracá-PE: variação nictemeral**. Arquivos de Ciências do Mar, Fortaleza, v. 39, p: 5-17.
- FILARDO, M. J. & DUNSTAN W.N. 1985. Hydrodynamic control of phytoplankton in low salinity waters of the James River Estuary, Virginia, U.S.A. [J]. **Estuary, Coast and Shelf Science**. v. 21, p. 653–667.
- FISHER T.R. et al. 1988. Phytoplankton, nutrients, and turbidity in the Chesapeake, Delaware, and Hudson estuaries [J]. **Estuary, Coast and Shelf Science**. v. 27, p. 61–93.
- FLORES MONTES, M. J. 1996. **Variação Nictemeral do fitoplâncton e parâmetros hidrológicos no Canal de Santa Cruz, Itamaracá, PE**. Universidade Federal de Pernambuco. 174p. (Dissertação de Mestrado).
- FRANÇA, C. F. de. 2003. **Morfologia e mudanças costeiras da margem leste da ilha de Marajó (PA)**. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 144 p. (Tese de Doutorado).
- GIBBS, R. J. 1970. Circulation in the Amazon river estuary and adjacent Atlantic ocean. **Journal of Marine Research**, New Haven, v. 28, p. 113-123.

- GUYOT J.L. 1993. Hydrogéoquímica des fleuves de l'Amazonie Bolivienne. ORSTOM Ed., **Etudes et thèses**, 1157-4, 264.
- HATCHER, B. G. et al. 1989. Review of research relevant to the conservation of shallow tropical marine ecosystems. **Oceanography and Marine Biology Annual Reviews**. v. 27, p. 337-414.
- HENRY, R. et al. 1999. Variação espacial e temporal da produtividade primária pelo fitoplâncton na represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, SP). **Revista Brasileira de Biologia**, v.70, n. 4, p.571-590.
- HERZ, R. 1991. **Manguezais do Brasil**. São Paulo. Universidade de São Paulo, 54 p. 14 figuras, 5 tabelas.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2003. **Pedologia**: Carta exploratória de solos. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/solos/viewer.htm>. Acesso em 22 fev. 2007.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Gráficos das condições registradas**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/>. Acesso em: 15 dez. 2008.
- JAPIASSÚ, A M. J. & GOÉS FILHO, L. 1974. Vegetação In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radam. **Folha SA 22 - Belém**. Rio de Janeiro: DNPM, 1-93. (Levantamento de recursos naturais, 5).
- JAWORSKI, N.A. et al. 1992. A watershed nitrogen and phosphorus balance: the upper Potomac River Basin. **Estuaries**, 15 (1): 83-95.
- JUNK, W. J. 1983. As águas da região Amazônica. In: SALATI, E. et al. **Amazônia**: desenvolvimento, integração e ecologia. São Paulo: Brasiliense, p. 54-55.
- JUNK, W. & FURCH, K. 1984. The physical and chemical properties of Amazonian water and their relationships with the biota. In: FREHERME, J. E. (Ed.) **Amazon rain forest**. Oxford: Pergamon Press, 480p.
- JUSTIC, D. et al. 1995. E. Stoichiometric nutrient balance and origin of coastal eutrophication [J]. **Marine Pollution Bulletin**. v. 30, p. 41-46.
- KENNISH, M. J. 1994. **Practical Handbook of Marine Science**, 2nd Edition, Boca Raton, Florida, CRC Press.
- KJERVE, B. 1990. **Manual for investigation of hidrological processes in mangrove ecosystems**. New Delhi, UNESCO-UNDP, 79 p.

- KLEEREKOPER, H. 1990. **Introdução ao estudo da Limnologia**. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2ª edição, 329 p., Porto Alegre.
- KNOX, A. S. et al. 2006. Phosphate sources and their suitability for remediation of contaminated soils. **Science of the Total Environment**, v. 357, p: 271-279.
- KOBAYASHI, C. N. 1979. **Métodos geofísicos aplicados à prospecção de água subterrânea no município de Ponta de Pedras - ilha do Marajó - Pará**. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 93 p. (Dissertação de Mestrado).
- LARA, R. J. & DITTMAN, T. 1999. Nutrient dynamics in a mangrove creek (North Brazil) during the dry season. **Mangroves and Salt Marshes**, v. 3, p. 185–195, 1999. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- LATRUBESSE, E. M. & STEVAUX, J. C. 2002. Geomorphology and environmental aspects of the Araguaia fluvial basin, Brazil. **Zeitschrift für geomorphologie NF**, v. 129, p. 109- 127.
- LIMA, A. M. M. et al. 2004. **Ilha do Marajó: revisão histórica, hidroclimatologia, bacias hidrográficas e proposta de gestão**. Relatório técnico. Secretaria Executiva de Ciências Tecnologia e Meio Ambiente – Núcleo de Hidrometeorologia (SECTAM/NHM). Belém.
- LIMA, K. 2002. **Variação sazonal da precipitação pluviométrica, temperatura do ar e umidade relativa do ar em ecossistemas de manguezal, floresta e pasto no leste da Amazônia, no período de agosto/2000 a dezembro/2001**. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 43 p. (Trabalho de Conclusão de Curso).
- LIMA, W. N. & KOBAYASHI, C. N. 1988. Sobre o quimismo predominante nas águas do sistema fluvio-estuarino de Barcarena, PA. **Geochimica Brasiliensis**, v. 2, n. 1, p. 53-71.
- LIU, S. M. et al. 2005. Factors influencing nutrient dynamics in the eutrophic Jiaozhou Bay, North China. **Progress in Oceanography**, v. 66, p. 66–85.

- MÁCOLA, G. & EL-ROBRINI, M. 2004. **Ilha dos Guarás (Mariteua) - município de Curuçá (NE do Pará):** aspectos físicos, meteorológicos e oceanográficos. Belém, CHD/GEMC. v. 1. 35p. (Relatório final). Disponível em: http://www.cdp.com.br/images/espardarte/espardarte_estudo.pdf. Acesso em: 13 mar. 2008.
- MAIER, M. H. 1987. Ecologia da bacia do rio Jacaré Pepira (47°55' – 48°55'W; 22°30' – 21°55'S – Brasil): qualidade da água do rio principal. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.39, n.2.
- MARTORANO, L. G. et al. 1993. **Estudos climáticos do estado do Pará, classificação climática (KÖPPEN) e deficiência hídrica (THORNTON, MATHER)**. Belém, Sudam/Embrapa. 53 p.
- Mc CARTHY, J. J. et al. 2001. **Climate change 2001; Impact, adaptation, and vulnerability**. Cambridge University Press; p. 195–233.
- Mc NEELY et al. 1979. **Water Quality Soucerbook**. A Guide to Water Quality Parameters. Ottawa, Inland Water Directorate, Water Quality Branch, 89 p.
- MEADE, R.H. et al. 1985. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River estuary. **Nature**, v. 278, p. 161-163.
- MEKONG RIVER COMMISSION (MRC). 2005. **Overview of the hydrology of the Mekong Basin**.
- MELO, O. T. 1998. **Comportamento biogeoquímico de nutrientes no estuário do rio Bacanga, Ilha de São Luís - MA**. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 115 p. (Dissertação de Mestrado).
- MEYBECK, M. 1981. Pathways of major elements from land to ocean through Rivers. In: BURTON, J. D.; EISMA, D. (eds) **River inputs to ocean systems**. Paris. UNEP/UNESCO. P. 18 – 30.
- MILANI, E.J. 1991. Anomalias gravimétricas em bacias do tipo rifte: exemplos brasileiros. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 2., Salvador. **Anais...**, Salvador, CISBG, v. 2, p. 172-176.
- MILLERO, F. J. & SOHN, M. L. 1996. Chemical Oceanography. **CRC Press**, 531 p., Boca Raton.

- MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE. 1996. Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC. **Perfil dos Estados Litorâneos do Brasil**: Subsídios à Implantação do Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro. Coordenações Estaduais do Gerenciamento Costeiro. Brasília, Programa Nacional do Meio Ambiente: 301p.
- MIRANDA, L. B. & CASTRO, B. M. B. 2002. **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 400 p. (Acadêmica 42).
- MIRANDA NETO. 1976. **Manual Integrado do Marajó**: Desafio da Amazônia. Rio de Janeiro: Editora Record, 180 p.
- MONTEIRO, S. M. 2006. **Avaliação da água superficial da baía do Guajará (Belém-PA) utilizando indicadores abióticos**. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 54 p. (Trabalho de conclusão de curso).
- MORAES, B. C. et al. 2005. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta Amazonica**. v. 35, n. 2, p. 207 – 214.
- NASH, D. & MURDOCH, C. 1997. Phosphorus in runoff from a fertile dairy pasture. **Australian Journal of Soil Research**, v. 35, n. 2, p: 419-429.
- NIXON, S. W. et al. 1984. The role of mangrove in the carbon and nutrient dynamics of Malaysia estuaries, p. 534-544. In: SOEPARDMO, E.; RAO, A. N.; MACINTOSH, D. J. (eds.), *Proceeding of the Asian Symposium on Mangrove Environment: Research and Management*. University of Masaya, Kuala Lumpur, Malaysia.
- NORIEGA, C.D. et al. 2005. Distribuição espacial da biomassa fitoplanctônica e sua relação com os sais nutrientes, no sistema estuarino de Barra das Jangadas (Pernambuco – Brasil). **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 38, p. 5-18.
- OZCOASTS, 2008. Australian Online Coastal Information. Disponível em: <http://www.ozcoasts.org.au>> Acesso em: 20 jul. 2008.
- PENNOCK, J. R. & SHARP J. H. 1986. Phytoplankton production in the Delaware Estuary: Temporal and spatial variability [J]. **Marine Ecology Progress Series**. v. 34, p. 143–155.

- PEREIRA, C. T. C. 2006. **Caracterização hidrogeoquímica do estuário do rio Curuçá (município de Curuçá – NE do Pará)**. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 125 p. (Dissertação de Mestrado).
- PEREIRA, S. F. et al. 2007. Estudo químico ambiental do rio Murucupi – Barcarena, PA, Brasil, área impactada pela produção de alumínio. **Revista AmbiÁgua**, Taubaté, v. 2, n. 3, p. 62-82.
- PEREIRA FILHO, J. et al. 2001. **Intratidal variation and net Transport of Dissolved Inorganic Nutrients, POC and chlorophyll a in the Camboriú River Estuary, Brazil**. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 53: 249- 257.
- PEREIRA, R. C. & SOARES-GOMES, A. 2002. **Biologia Marinha**. Rio de Janeiro. Editora Interciência Ltda, 382 p.
- PINHEIRO, R.V.L. 1987. **Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do Estuário Guajará - Belém (PA)**. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 163 p. (Dissertação de Mestrado).
- PITKÄNEN, H. et al. 1993. Late summer trophic conditions in the North-east Gulf of Finland and the River Neva Estuary, Baltic Sea. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 37, p. 453-474.
- PIUCI, J. 1979. **Hidrogeologia da área piloto de Ponta de Pedras - ilha do Marajó**. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 143 p. (Dissertação de Mestrado).
- PRATHUMRATANA, L. et al. The relationship of climatic and hydrological parameters to surface water quality in the lower Mekong River. **Environment International**. v. 34, p. 860–866. 2008.
- PRITCHARD, D. W. 1981. Circulação e mistura das águas nas regiões costeiras e estuários. In: _____. **Oceanografia: a última fronteira**. São Paulo: Cultrix Ltda, p. 321 – 332.
- PRITCHARD, D. W. 1967. What is an Estuary: physical viewpoint. In: LAUFF, G. H. (ed.) **Estuaries**. Washington: American Association for the Advance of Science, v. 83, p. 3-5.
- PRITCHARD, D. W. 1955. Estuarine circulations patterns. **Proceedings of the American Society of Civil Engineers**, v. 81, n. 717, p. 1-11.

- PROST, M. T. & RABELO, B. V. 1996. Variabilidade fito-espacial de manguezais litorâneos e dinâmica costeira: exemplos da Guiana Francesa, Amapá e Pará. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi**, Série. Ciências da Terra, v. 8, p. 101-121.
- QASIM, S. Z. & SANKARANARAYANAN, V. N. 1972. Organic detritus of a tropical estuary. **Marine Biology**. v. 15, p. 193-199.
- RIBEIRO, H. M. C. 1992. **Avaliação atual da qualidade das águas dos lagos Bolonha e Água Preta, situados na área fisiográfica do Utinga (Belém-PA)**. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 205 p. (Dissertação de Mestrado).
- RIBEIRO, H. M. C. & LIMA, W. M. de. 1992. Caracterização químico mineralógico do sedimento de fundo (Utinga, Belém – PA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 32. Belém, 1992. **Anais...** Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Química. v.1, p.41-42; v. 4, p. 25-31.
- ROSÁRIO, R. P.; KRELLING, A. P. M.; MENEZES, M. O. B. 2008. Caracterização física do estuário do rio Paracauari – leste da Ilha de Marajó – Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 3.; CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE OCEANOGRAFIA, 1., Fortaleza. **CD-ROM.**, Fortaleza, CBO, CIAO.
- SABRI, A. 1977. **Phosphate Flux in Breydon Water Estuary**. Unpubl. Ph.D. Thesis, UEA, Norwich.
- ROSSETTI, D. F.; GOES, A. M.; VALERIANO, M. M.; MIRANDA, M. C. C. 2007. Quaternary tectonics in a passive margin: Marajo Island, northern Brazil. **Journal of Quaternary Science**, v. 22, p. 1–15.
- SAENGER, P. & HOLMES, N. 1992. Physiological temperature tolerance, and behavioural differences between tropical and temperate organisms, p. 69-95. In: CONNELL, D. W.; HAWKER, D. W. (eds.), *Pollution in Tropical Aquatic Ecosystems*. CRC Press, London.
- SANKARANARAYANAN, V. N. & QASIM, S. Z. 1969. Nutrients of the Cochin Backwater in relation to environmental characteristics. **Marine Biology**. v. 2, p. 236-247.
- SANTOS, A., TANCREDI, A. C. N. S.; SILVA, M. S. 1986. Limnologia da Amazônia Oriental: caracterização biogeoquímica da parte sul do estuário do rio Amazonas. **Acta Limnologica Brasiliensia**. v. 1, p. 113-126.

- SANTOS, A. P. E. dos, et al. 2008. Aspectos limnológicos e geoquímicos sobre a ocorrência de fosfato solúvel em águas estuarinas de baixas salinidades (Baía de Marajó, PA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 3.; CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE OCEANOGRAFIA, 1. Fortaleza. **CD-ROM**, Fortaleza, CBO, CIAO.
- SANTOS, M. L.; MEDEIROS, C.; MUNIZ, K.; FEITOSA, F. A. N.; SCHWAMBORN, R.; MACÊDO, S. 2008. Influence of the Amazon and Para´ Rivers on Water Composition and Phytoplankton Biomass on the Adjacent Shelf. **Journal of Coastal Research**, v. 24, n. 3, p. 585–593.
- SCHAFER, A. 1985. **Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais**. Porto Alegre: EDUNI-SUL/GTZ.
- SCHALLER, H.; VASCONCELOS, D. N.; CASTRO, J. C. 1971. Estratigrafia preliminar da bacia sedimentar da foz do rio Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25. São Paulo. **Anais.**, São Paulo, SBG, v. 3, p. 189-202.
- SCHMIEGELOW, J. M. M. 2004. **O planeta azul: uma introdução às ciências marinhas**. Rio de Janeiro: Interciência Ltda, 202 p.
- SILVA, A. C. 2000. **Campos de Temperatura e Salinidade na Plataforma Continental do Amazonas, durante a descarga mínima (Outubro de 1997) do Rio Amazonas: Uma Análise Ambiental**. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 67 p. (Trabalho de Conclusão de Curso).
- SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T. 2007. **Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis. **Anais...** Fortaleza: INPE 2007, p. 3577-3584.
- SIOLI, H. 1968. Hidrogeochemistry and geology in the brazilian Amazon region. **Amazoniana**. v. 1, p. 267-277.
- SIOLI, H. 1984. The Amazon and its main affluents: Hydrography, morphology of the river courses; and river types. In: SIOLI, H. (Ed.). **The Amazon. Limnology and Landscape Ecology of a might Tropical River and its Basin**. Dordrecht: Dr. W. JUNK Publishers, p. 127 – 165.

- SIOLI, H. & KLINGER, H. 1962. Solos, tipos de vegetação e águas na Amazônia. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi**. Série avulsa, Belém, n. 4, p: 37-41.
- SIQUEIRA, G. W.; BRAGA, E. S.; MENDES, A. S. 2000. Avaliação dos teores de silicato dissolvido em águas da plataforma continental interna e externa do Amapá, entre as profundidades de 13 a 87 metros, limitados pelos Cabos Orange (04°20'00"N) e Norte (01°40'00"N). In: SEMANA NACIONAL DE OCEANOGRAFIA, 13. **Anais**. Itajaí, p . 260-261.
- SMAYDA, T.J., 1983. In : KETCHUM, B.H. **Ecosystems of the World: Estuaries and Enclosed Seas** . Elsevier Scientific Publishing Company.
- SOUZA, L. S. B. & ROSSETTI, D. F. 2009. Análise morfoestrutural na porção leste da Ilha do Marajó/PA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 3387-3394. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-16052-PRE/10661). Disponível em: <http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.09.31>. Acesso em: 02 jul. 2009.
- STRICKLAND, J. D. H. & PARSONS, T. R. 1972. **A practical handbook of seawater analysis**. 2. ed. Ottawa, Fisheries Research Board of Canada, 1972. 310 p (Bulletin 167).
- TANCREDI, A. C. F. N. S. 1986. Hidrogeologia da região oriental da Ilha de Marajó. Belém, Instituto de Desenvolvimento Econômico-Social do Pará, (Relatório de Pesquisa, 11). 97 p.
- TEIXEIRA, J.V.B. & COSTA, L. T. DA R. 1992. **Estágio de campo III: Sub-área X**, estudo Integrado da região de Soure - Salvaterra - Marajó (PA). Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. 153 p.
- UPADHYAY, S. 1988. Physico-chemical characteristics of the Mahanadi Estuarine ecosystem, east coast of India. **Indian Journal of Marine Science**. v. 17, p. 19-23.
- WETZEL, R.G. 1993. **Limnologia**. Lisboa; Fundação Calouste Gulbenkian, 919p.
- WHITE, D. L.; PORTER, D. E.; LEWITUS, A. J. 2004. Spatial and temporal analyses of water quality and phytoplankton biomass in an urbanized versus a relatively pristine salt marsh estuary. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 298, n. 55– 273.

ANEXO

ANEXO A:

Tabela 2: Valores mínimos, máximos, médios e medianos dos parâmetros estudados no estuário do rio Paracauari, com n=10 para cada campanha.

Parâmetros	Período chuvoso				Período intermediário				Período menos chuvoso			
	Mín.	Máx.	MA	MED	Mín.	Máx.	MA	MED	Mín.	Máx.	MA	MED
T Sup. (°C)	28,18	28,61	28,35	28,36	28,52	29,35	28,9	28,95	28,32	29,59	28,91	28,72
T Fundo (°C)	28,2	28,43	28,34	28,36	28,46	28,93	28,76	28,85	28,35	29,46	28,81	28,69
pH Sup.	5,04	6,5	5,9	6,1	5,8	7,26	6,64	6,8	7,03	7,86	7,39	7,37
pH Fundo	5,16	6,4	5,85	5,89	6,12	7,22	6,77	6,9	7,02	7,64	7,34	7,37
Transparência (cm)	8	10	8,47	8	14	60	39,88	40	20	60	44,7	50
MPS Sup.(mg/L)	77,33	115,66	100,01	103,01	19,33	63	32,6	27,5	12,14	18,91	14,92	15
MPS Fundo (mg/L)	62	98,66	87,44	90,02	30,66	56,33	41,78	41	12,51	17,9	15,43	15,55
CE Sup. (µS/cm)	132	416	262,46	255	148	3210	1774,41	2354	6283	14080	10871,76	12740
CE Fundo (µS/cm)	123	414	256,46	244	164	3650	1897,35	2489	6200	13240	10885,29	12790
Sal. Sup.	0,06	0,2	0,12	0,12	0,06	1,63	0,86	0,83	3,66	7,56	6,09	7,25
Sal. Fundo	0,06	0,2	0,11	0,11	0,07	1,94	0,95	1,1	3,59	7,59	6,13	7,26
TDS Sup. (mg/L)	64	208	130	128	80	1614	882,35	1030	3147	6618	5403,64	6412
TDS Fundo (mg/L)	62	190	121,33	122	89	1819	940,58	1140	3096	6631	5457,7	6425
OD Sup. (mg/L)	2,3	4,4	3,2	3,1	3,7	4,88	4,35	4,41	5,9	6,61	6,31	6,3
OD Fundo (mg/L)	2,5	4,15	3,03	2,9	3,6	4,7	4,27	4,33	5,86	6,55	6,26	6,29
NO ₃ ⁻ Sup. (mg/L)	5,16	8,22	6,44	6,35	0,8	5,64	2,27	1,2	0,64	4,93	2,23	1,71
NO ₃ ⁻ Fundo (mg/L)	5,1	8,9	6,59	6,48	1,09	3,54	2,13	2	0,86	4,21	1,94	1,45
NO ₂ ⁻ Sup. (mg/L)	0,01	0,09	0,05	0,05	0,01	0,11	0,03	0,01	0,01	0,07	0,03	0,02
NO ₂ ⁻ Fundo (mg/L)	0,01	0,11	0,06	0,06	0,01	0,08	0,02	0,01	0,01	0,69	0,1	0,04
NH ₃ ⁺ Sup. (mg/L)	0,4	0,55	0,47	0,46	0,26	0,77	0,43	0,38	0,15	0,77	0,36	0,33
NH ₃ ⁺ Fundo (mg/L)	0,36	0,55	0,44	0,44	0,11	0,66	0,39	0,41	0,1	0,27	0,19	0,19
PO ₄ ³⁻ Sup. (mg/L)	0,76	1	0,92	0,92	0,15	0,99	0,32	0,33	0,11	0,94	0,29	0,17
PO ₄ ³⁻ Fundo (mg/L)	0,74	0,97	0,86	0,865	0,18	1,01	0,29	0,29	0,1	0,84	0,223	0,115
SiO Sup.(mg/L)	41,46	83,1	60,75	56,27	23,95	49,84	35,52	36,47	14,97	31,13	20,19	19,46
SiO Fundo (mg/L)	43,52	81,3	59,53	57,21	21	43	31,22	28,5	13	29	18,87	17,42

ANEXO B: Matriz de correlação linear

Tabela 3: Matriz de correlação linear dos parâmetros analisados durante o período chuvoso

Parâmetro	Correlação: Grupo 1 (Período Chuvoso) p < ,05000; n=10				
	Nitrato	Nitrito	N-amoniacal	Fosfato	Silicato
T	0,15	0,74	0,66	-0,20	0,16
S	0,44	0,86	0,83	-0,42	-0,00
pH	-0,50	-0,76	-0,82	0,42	-0,10
CE	0,44	0,83	0,81	-0,37	0,04
TDS	0,44	0,81	0,82	-0,37	0,07
Transp.	-0,18	-0,52	-0,50	0,49	-0,19
MPS	-0,16	0,33	0,45	-0,05	0,40
OD	0,13	-0,07	0,16	0,09	-0,24
Nitrato	1,00	0,34	0,62	-0,41	-0,48
Nitrito	0,34	1,00	0,72	-0,55	-0,07
N-amoniacal	0,62	0,72	1,00	-0,29	-0,13
Fosfato	-0,41	-0,55	-0,29	1,00	0,37
Silicato	-0,48	-0,07	-0,13	0,37	1,00

Tabela 4: Matriz de correlação linear dos parâmetros analisados durante o período intermediário e menos chuvoso

Parâmetro	Correlação: Grupo 2 (Período Intermediário e Menos chuvoso) p < ,05000; n=20				
	Nitrato	Nitrito	N-amoniacal	Fosfato	Silicato
T	0,63	0,54	0,16	-0,04	0,61
S	-0,09	-0,07	-0,20	-0,03	-0,83
pH	-0,38	-0,27	-0,34	-0,03	-0,76
CE	-0,10	-0,08	-0,21	-0,04	-0,83
TDS	-0,09	-0,07	-0,20	-0,03	-0,83
Transp.	-0,33	-0,14	-0,21	-0,16	-0,03
MPS	0,41	0,38	0,43	-0,07	0,57
OD	0,13	0,17	0,03	-0,07	-0,64
Nitrato	1,00	0,66	0,32	-0,26	0,18
Nitrito	0,66	1,00	0,34	-0,17	0,32
N-amoniacal	0,32	0,34	1,00	0,13	0,14
Fosfato	-0,26	-0,17	0,13	1,00	-0,02
Silicato	0,18	0,32	0,14	-0,02	1,00