



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 443

**INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE SOBRE AS ÁGUAS
ESTAURINAS DOS FUROS DA ILHA DE COLARES (BAÍA DO
MARAJÓ)**

Dissertação apresentada por:

ROBLEDO HIDEKI EBATA GUIMARÃES

Orientador: Prof. Maâmar El-Robrini (UFPA)

**BELÉM
2014**

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
(Biblioteca do Instituto de Geociências/UFPA)

Guimarães, Robledo Hideki Ebata, 1983-

Influência da sazonalidade sobre as águas estuarinas dos furos da ilha de Colares (baía do Marajó) / Robledo Hideki Ebata Guimarães. – 2015.

xviii, 114 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Maâmar El-Robrini

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2014.

1. Estuários - Colares (PA). 2. Estuários - Vigia (PA). 3. Oceanografia química. 4. Água - Qualidade. I. Título.

CDD 22. ed. 551.4609098115



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

**INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE SOBRE AS ÁGUAS
ESTAURINAS DOS FUROS DA ILHA DE COLARES (BAÍA
DO MARAJÓ)**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR
ROBLEDO HIDEKI EBATA GUIMARÃES

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

Data de Aprovação: 17 / 12 / 2014

Banca Examinadora:

Prof. Maâmar El-Robrini
(Orientador-UFPA)

Prof.ª Elisabete de Santis Braga
(Membro-USP)

Prof. José Augusto Martins Corrêa
(Membro-UFPA)

A minha mãe Jenny Megumi Ebata.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me acompanhado em todos os meus passos, todos os momentos clareando minha mente e iluminando meus caminhos.

Aos meus pais Jenny Megumi Ebata e José Hórlei Gomes Guimarães. Sobre tudo a minha mãe que tem sido minha base, suporte e meu porto seguro a todos os intemperes e tempestades.

Agradeço a todos os membros da Família Guimarães e Ebata.

Presto respeito a todos os meus ancestrais da Família Guimarães e Ebata.

Ao professor Maâmar El-Robrini que meu deu a oportunidade do mestrado e por ter me favorecido outras oportunidades de pesquisa e aprendizagem de campo que acrescentaram o meu percurso.

Ao professor José Augusto Martins Corrêa que sempre me ajudou em minhas dúvidas em geoquímica de águas e equipamentos analíticos.

A técnica Leila Hanna que sempre me ajudou sobre os procedimentos químicos analíticos e além de compartilhar sempre o seu conhecimento técnico comigo.

Agradeço aos graduandos de oceanografia Alexandre Campos do Nascimento, Felipe Augusto de Araújo Monteiro, Rafaela Cristiny Barbosa Campos, Lizandra Pantoja Baia, Gabriel dos Santos, Geyklin Bittencourt e Thiago Monteiro da Silva pelo auxílio no meu trabalho de campo e laboratório.

Agradeço a Shirlen Cristina Nascimento de Castro por me proporcionar a sua amizade dentro e fora da Universidade.

Aos todos os meus amigos do Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros (GEMC) em especial a Lorena Amaral Bittencourt pelo seu auxílio em minhas pesquisas.

Agradeço ao Francisco José Nascimento Batista, motorista do IG, pela consideração e por proporcionar uma viagem de campo em segurança, para mim e para todos os meus colegas pesquisadores.

Agradeço a minha amada prima Amanda Oliveira Guimarães pelo apoio e presença em um momento crucial que foi minha apresentação de seminário II.

Aos meus amigos-irmãos Raphael Gonçalves Furtado, Clistene Albuquerque da Silva, Heskethi Cavalcante Barbosa, Thiago de Lyoon Benitez e Talita Oliveira de Nazaré por me conceder suas mais nobres amizades. Em especial a Talita Oliveira de Nazaré que me ajudou e fez parte fundamental na execução e concretização de minhas pesquisas.

Agradeço ao Paulo Victor Magno Silva na sua permanente amizade de longa data, nesta minha vida como pesquisador.

Agradeço ao Ruan Luiz Farias da Silva pelo seu auxílio nessa fase final de meu mestrado.

Um agradecimento especial para o Dayveson da Silva Pimentel e para a Rafaela Cristiny Barbosa Campos pelo auxílio tão importante na edição e formatação de minha dissertação.

Presto um agradecimento *in memoriam* a minha avó Emiko Ebata por tudo que ela representou e representa.

Agradeço também a Magi (meu cachorro), que me proporciona alegria sempre.

A CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo patrocínio da bolsa de mestrado.

Ao Programa de Pós Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG), pelo suporte administrativo e aos professores que deram base teórica na construção de minha dissertação de mestrado.

Agradeço sinceramente a todos que participaram diretamente na concretização de meu grau de Mestre.

“Se as portas da percepção fossem limpas, tudo apareceria ao homem como
realmente é: INFINITO.”

William Blake

SUMARIO

	DEDICATORIA	iv
	AGRADECIMENTOS.....	v
	EPIGRAFE	vi
	LISTA DE ILUSTRAÇÕES	xi
	LISTA DE TABELAS	xiv
	LISTA DE REAÇÕES.....	xv
	LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xvi
	RESUMO.....	xvii
	ABSTRACT.....	xviii
1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS.....	5
2.1	GERAL.....	5
3	ÁREA DE ESTUDO.....	6
3.1	LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	6
4	REVISÃO DE LITERATURA.....	8
4.1	DEFINIÇÕES DE ESTUÁRIOS.....	8
4.2	CLASSIFICAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DOS ESTUÁRIOS	11
4.2.1	Geomorfologia de acordo com Pritchard (1967).....	11
4.2.1.1	Estuários de Planície Costeira.....	11
4.2.1.2	<i>Fjord</i>	12
4.2.1.3	Estuários em forma de Barra.....	12
4.2.1.4	Outros estuários.....	13
4.2.2	Geomorfologia de acordo com Hayes (1975).....	13
4.3	CLASSIFICAÇÃO DOS ESTUÁRIOS DE ACORDO COM A ESTRATIFICAÇÃO SALINA.....	14
4.3.1	Cunha Salina.....	14
4.3.2	Parcialmente Misturado ou Parcialmente Estratificado.....	14
4.3.2	Verticalmente Homogêneo ou Bem Misturado.....	15
4.4	CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS DA AMAZÔNIA.....	15
4.4.1	Águas Brancas.....	16
4.4.2	Águas Pretas.....	16
4.4.3	Águas Claras.....	17
4.5	CARACTERÍSTICAS DOS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS EM ESTUÁRIOS TROPICAIS.....	17
4.5.1	Temperatura (°C).....	17
4.5.2	Salinidade (Sal).....	18
4.5.3	Potencial Hidrogeniônica (pH).....	19
4.5.4	Condutividade Elétrica (CE).....	20
4.5.5	Oxigênio Dissolvido (OD).....	20
4.5.6	Material Particulado em Suspensão (MPS).....	21
4.5.7	Transparência da Água.....	21
4.6	DINAMICA DOS NUTRIENTES INORGÂNICOS.....	22
4.6.1	Nitrogênio (N).....	22

4.6.2	Fósforo (P).....	27
4.6.3	Silício (Si).....	29
4.6.4	Enxofre (S).....	30
5	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	32
5.1	CONDIÇÕES GEOLOGICAS.....	32
5.1.1	Grupo Barreiras.....	32
5.1.2	Sedimentos Pós-Barreiras.....	32
5.1.3	Sedimentos Recentes.....	32
5.2	CONDIÇÕES GEOMORFOLOGICAS.....	32
5.2.1	Planície Aluvial.....	33
5.2.2	Cordão Arenoso.....	33
5.2.3	Praias Estuarinas.....	33
5.2.4	Planície de Maré Lamosa.....	33
5.2.5	Banco Lamoso de Intermaré.....	33
5.2.6	Leito Estuarino Arenoso.....	34
5.3	SOLOS DA ILHAS DE COLARES.....	34
5.4	COBERTURA VEGETAL.....	34
5.5	CONDIÇÕES CLIMATICAS.....	35
5.5.1	Precipitação.....	35
5.4.2	Temperatura.....	35
5.4.3	Vento.....	35
5.6	HIDROLOGIA.....	36
5.7	CONDIÇÕES OCEANOGRÁFICAS.....	36
5.7.1	Profundidade e Correntes.....	36
5.7.2	Maré.....	36
6	MATERIAIS E METODOS.....	37
6.1	CAMPO.....	37
6.1.1	Profundidade de Secchi.....	37
6.1.2	Amostragem da Água.....	37
6.1.3	Oxigênio Dissolvido (OD).....	37
6.1.4	Parâmetros Físicos e Químicos.....	38
6.1.5	Água Intersticial.....	38
6.2	LABORATÓRIO.....	38
6.2.1	Matéria Orgânica (MO).....	38
6.2.2	Determinação das Variáveis Hidroquímicas.....	39
6.2.2.1	Material Particulado em Suspensão (MPS).....	39
6.2.2.2	Análise dos Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos.....	39
6.2.2.2.1	Determinação de Nitrato Dissolvido (Reação de Griess).....	40
6.2.2.2.2	Determinação de Nitrito Dissolvido (Reação de Griess).....	40
6.2.2.2.3	Determinação do N-amoniaco Dissolvido.....	40
6.2.2.2.4	Determinação do (Orto)Fosfato Dissolvido.....	41
6.2.2.2.5	Determinação do Silício Reativo Dissolvido.....	41
6.2.2.2.6	Determinação do Sulfato Dissolvido.....	42
6.2.2.3	Água Intersticial.....	42
6.3	TRATAMENTO ESTATÍSTICO.....	42
7	RESULTADOS.....	44

7.1	INDICE PLUVIOMÉTRICO (IP).....	44
7.2	ALTURA DE MARÉ.....	44
7.3	VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS ABIÓTICOS DO FURO DA ILHA DE COLARES.....	45
7.3.1	Caracterização dos Parâmetros Físicos e Químicos das Águas do Furo da Ilha de Colares.....	45
7.3.1.1	Caracterização dos Parâmetros Físicos e Químicos das Águas Superficiais do Furo da Ilha de Colares.....	46
7.3.1.1.1	<i>Temperatura (°C)</i>	46
7.3.1.1.2	<i>Salinidade (Sal)</i>	49
7.3.1.1.3	<i>Potencial Hidrogeniônico (pH)</i>	51
7.3.1.1.4	<i>Condutividade Elétrica (CE)</i>	54
7.3.1.1.5	<i>Sólidos Totais Dissolvidos (STD)</i>	56
7.3.1.1.6	<i>Oxigênio Dissolvido (OD)</i>	57
7.3.1.1.7	<i>Material Particulado em Suspensão (MPS)</i>	59
7.3.1.1.8	<i>Profundidade de Secchi (Secchi)</i>	62
7.3.1.2	Parâmetros Físicos e Químicos das Águas Intersticiais.....	65
7.3.1.2.1	<i>Salinidade (Sal)</i>	65
7.3.1.2.2	<i>Potencial Hidrogeniônico (pH)</i>	66
7.3.2	Caracterização dos Nutrientes Dissolvidos das Águas do Furo da Ilha de Colares.....	66
7.3.2.1	Caracterização dos Nutrientes Dissolvidos das Águas Superficiais do Furo da Ilha de Colares.....	67
7.3.2.1.1	<i>Nitrato (NO_3^-)</i>	67
7.3.2.1.2	<i>Nitrito (NO_2^-)</i>	71
7.3.2.1.3	<i>N-amoniacal ($NH_3 - NH_4^+$)</i>	73
7.3.2.1.4	<i>Fosfato (PO_4^{3-})</i>	75
7.3.2.1.5	<i>Silicato (SiO_2)</i>	78
7.3.2.1.6	<i>Sulfato (SO_4^{2-})</i>	80
7.3.2.2	Nutrientes Dissolvidos na Água Intersticial.....	84
7.3.2.2.1	<i>Nitrato (NO_3^-)</i>	84
7.3.2.2.2	<i>Nitrito (NO_2^-)</i>	85
7.3.2.2.3	<i>N-amoniacal ($NH_3 - NH_4^+$)</i>	85
7.3.2.2.4	<i>Fosfato (PO_4^{3-})</i>	86
7.3.2.2.5	<i>Silicato (SiO_2)</i>	87
7.3.2.2.5	<i>Sulfato (SO_4^{2-})</i>	88
7.3.2.2.7	<i>Matéria Orgânica (MO)</i>	88
7.3.3	Correlação dos Parâmetros Abióticos.....	90
7.3.3.1	Correlação dos Parâmetros Abióticos no Período Chuvoso.....	90
7.3.3.2	Correlação dos Parâmetros Abióticos no Período Menos Chuvoso.....	94
7.3.4	Representação, Análise e Distribuição Sazonal dos Parâmetros Abióticos em Box-Whisker.....	98
7.3.4.1	Parâmetros Físicos e Químicos	98
7.3.4.2	Nutrientes Dissolvidos	100
8	CONCLUSÃO.....	102
	REFERÊNCIAS	104

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Localização geográfica dos sítios de amostragem no furo da ilha de Colares P1: foz Norte (rio Guajará-mirim/Vigia), P2: foz Sul (Laura) e na baía do Marajó (Colares).....	6
Figura 2 -	A: Estação de coleta na foz Norte (rio Guajará-mirim), B: trapiche de Vigia (rio Guajará-mirim), C: mercado pesqueiro de Vigia, D: águas brancas do rio Guajará-mirim, E: estação de coleta na foz Sul (Laura) e F: manguezal da Laura.....	7
Figura 3 -	Representação esquemática de um estuário e suas divisões em setores. Fonte: Fairbridge, 1980.....	8
Figura 4 -	Esquema geomorfológico de um estuário. Fonte: Kjerfve 2002, adaptado por Miranda & Castro 2002.....	9
Figura 5 -	Mapa de zoneamento do estuário em partes: inferior, central e externa. Os limites das zonas de transição mudam de acordo com a sazonalidade, clima e regime de marés. Fonte: Brown <i>et al.</i> 1989.....	9
Figura 6 -	Divisão dos estuários de acordo com regime de energia, tipo de sedimentos e morfologia: zonas interna, central e externa. Fonte: Dalrymple <i>et al.</i> 1992.....	10
Figura 7 -	Modelo de fácies sedimentares de acordo com a energia hidrodinâmica Fonte: Dalrymple <i>et al.</i> 1992.....	10
Figura 8 -	Principais tipos de estuários. Fonte: Fairbridge 1981, Miranda & Castro 2002.....	11
Figura 9 -	Classificação de maré de acordo com a geomorfologia de estuários e tamanho de ondas. Fonte: Hayes 1975.....	14
Figura 10 -	Modelo de padrões de mistura de águas estuarinas. A) tipo cunha salina, B) parcialmente misturado ou parcialmente estratificado e C) verticalmente homogêneo ou bem misturado. Fonte: Pritchard 1952.....	15
Figura 11 -	Variação do índice pluviométrico acumulado mensal ano 2013 obtido nas cidades de Belém e Soure. Fonte: Adaptado de INMET 2013.....	44
Figura 12 -	Amplitude de maré em 10/04 - 05/10/2013. Fonte: Adaptado da Marinha do Brasil 2013.....	44
Figura 13 -	Variação espaço-temporal da temperatura das águas estuarinas na Foz Norte (rio Guajará-mirim / Vigia) e foz Sul (Laura).....	48
Figura 14 -	Variação espaço-temporal da salinidade das águas estuarinas na foz Norte (rio Guajará-mirim / Vigia) e foz Sul (Laura).....	51
Figura 15 -	Variação espaço-temporal do pH das águas estuarinas na foz Norte (rio Guajará-mirim / Vigia) e foz Sul (Laura).....	54
Figura 16 -	Variação espaço-temporal da CE das águas estuarinas na foz Norte (rio Guajará-mirim / Vigia) e foz Sul (Laura).....	56
Figura 17 -	Variação do STD em um ciclo de maré durante o período menos chuvoso das águas estuarinas na foz Norte (rio Guajará-mirim / Vigia) e foz Sul (Laura) do furo da ilha de Colares.....	57
Figura 18 -	Variação do OD em um ciclo de maré durante o período menos chuvoso das águas estuarinas na foz Norte (rio Guajará-mirim / Vigia) e foz Sul (Laura) do furo da ilha de Colares.....	59
Figura 19 -	Variação espaço-temporal do MPS das águas estuarinas na foz Norte (rio Guajará-mirim / Vigia) e foz Sul (Laura) do furo da ilha de Colares	61
Figura 20 -	Variação espaço-temporal da profundidade de Secchi das águas estuarinas na foz Norte (rio Guajará-mirim / Vigia) e foz Sul (Laura) do furo da ilha de Colares.....	63
Figura 21 -	(a) Médias de temperatura na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC) (b) médias de salinidade na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC) (c) médias de pH na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC) (d) médias de MPS na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC) (e) médias da profundidade de Secchi na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC).....	64

Figura 22 -	(a) Salinidade da água intersticial na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC) (b) pH da água intersticial na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC).....	66
Figura 23 -	Variação espaço-temporal do nitrato dissolvido nas águas estuarinas da foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares.....	70
Figura 24 -	Variação espaço-temporal do nitrito dissolvido nas águas estuarinas da foz Norte e foz Sul no furo da ilha de Colares.....	72
Figura 25 -	Variação espaço-temporal do N-amoniaco dissolvido nas águas estuarinas da foz Norte e foz Sul no furo da ilha de Colares.....	75
Figura 26 -	Variação espaço-temporal do fosfato dissolvido nas águas estuarinas da foz Norte e foz Sul no furo da ilha de Colares.....	77
Figura 27 -	Variação espaço-temporal do silicato dissolvido nas águas estuarinas da foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares.....	79
Figura 28 -	Variação espaço-temporal do sulfato dissolvido nas águas estuarinas da foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares.....	82
Figura 29 -	(a) Médias de concentrações de nitrato dissolvido na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC) (b) médias de concentrações do nitrito dissolvido na foz Norte e sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC) (c) médias de concentração de N-amoniaco na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC) (d) médias de concentrações de fosfato dissolvido na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC) (e) médias de concentrações de silicato dissolvido na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC) (f) médias de concentrações de sulfato dissolvido na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC).....	83
Figura 30 -	Concentrações de nitrato contidas nas águas intersticiais na foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC).....	84
Figura 31 -	Concentrações de nitrito contidas nas águas intersticiais na foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC).....	85
Figura 32 -	Concentrações de N-amoniaco contidas nas águas intersticiais na foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC).....	85
Figura 33 -	Concentrações de fosfato contidas nas águas intersticiais na foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC)....	86
Figura 34 -	Concentrações de silicato contidas nas águas intersticiais na foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC).....	87
Figura 35 -	Concentrações de sulfato contidas nas águas intersticiais na foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC).....	88
Figura 36 -	Quantificação da MO contida nos sedimentos do furo da ilha de Colares (foz Norte e foz Sul) durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC).....	88
Figura 37 -	Correlação dos parâmetros físicos e químicos durante o período chuvoso no furo da ilha de Colares: (a) foz Norte e (b) foz Sul negativa MPS – pH; (c) foz Norte e (d) foz Sul positiva Secchi – pH; (e) foz Norte negativa e (f) foz Sul positiva salinidade – pH.....	90
Figura 38 -	Correlação dos parâmetros abióticos durante o período chuvoso no furo da ilha de Colares: (a) foz Norte e (b) foz Sul, positiva salinidade – N-amoniaco; (c) foz Norte e (d) foz Sul, positiva N-amoniaco – pH; (e) foz Norte e (f) foz Sul, positiva salinidade – silicato; (g) foz Norte e (h) foz Sul, positiva salinidade – sulfato.....	92

Figura 39 -	Correlação dos parâmetros físicos e químicos durante o período menos chuvoso no furo da ilha de Colares: (a) foz Norte e (b) foz Sul, positiva pH – Secchi, (c) foz Norte e (d) foz Sul, negativa MPS – Secchi, (e) foz Norte, positiva e (f) foz Sul, negativa OD – Secchi; (g) foz Norte e (h) foz Sul, negativa MPS – OD.....	94
Figura 40 -	Correlação dos parâmetros abióticos durante o período menos chuvoso no furo da ilha de Colares: (a) foz Norte, positiva e (b) foz Sul, negativa silicato – salinidade, (c) foz Norte e (d) foz Sul, positiva sulfato – salinidade, (e) foz Norte, negativa e (f) foz Sul, positiva nitrito – salinidade; (g) foz Norte e (h) foz Sul, negativa nitrito – pH.....	96
Figura 41 -	Representação gráfica tipo Box Whisker representando a distribuição sazonal dos parâmetros físicos e químicos do furo da ilha de Colares: (a) temperatura, (b) salinidade, (c) pH, (d) condutividade elétrica, (e) material particulado em suspensão, (f) profundidade de Secchi na foz Norte no período chuvoso (FNC), na foz Sul no período chuvoso (FSC), na foz Norte no período menos chuvoso (FNS), e na foz Sul no período menos chuvoso (FSS).....	98
Figura 42 -	Representação gráfica tipo Box Whisker representando a distribuição sazonal dos nutrientes dissolvidos do furo da ilha de Colares: (a) nitrato, (b) nitrito, (c) N-amoniaco, (d) fosfato, (e) silicato, (f) sulfato na foz Norte no período chuvoso (FNC), na foz Sul no período chuvoso (FSC), na foz Norte no período menos chuvoso (FNS), e na foz Sul no período menos chuvoso (FSS).....	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Pontos de coleta, localização e coordenadas geográficas.....	6
Tabela 2 -	Classificação da divisão estuarina de acordo com a concentração de salinidade. Fonte: Elliott & Mclusky 2002.....	11
Tabela 3 -	Caracterização das águas brancas. Fonte: Sioli 1984.....	16
Tabela 4 -	Caracterização das águas pretas. Fonte: Sioli 1984.....	16
Tabela 5 -	Caracterização das águas claras. Fonte: Sioli 1984.....	17
Tabela 6 -	Classificação de águas salobras segundo sugestão do Symposium of Brackish Waters 1958 The Venice System. Fonte: Esteves 1998.....	19
Tabela 7 -	Critério de classificação quanto às semelhanças das águas com a aplicação do teste <i>t</i>	43
Tabela 8 -	Média, máximo, mínimo, coeficiente de variação (CV) e teste <i>t</i> dos parâmetros físicos e químicos das águas da foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares durante os períodos chuvoso e menos chuvoso.....	46
Tabela 9 -	Média dos parâmetros físicos e químicos da enchente e da vazante das águas superficiais das foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares durante os períodos chuvoso e menos chuvoso.....	65
Tabela 10 -	Parâmetros físicos e químicos das águas intersticiais da foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso e menos chuvoso.....	65
Tabela 11 -	Média, máximo, mínimo, coeficiente de variação (CV) e teste <i>t</i> dos nutrientes dissolvidos nas águas das foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso e menos chuvoso.....	67
Tabela 12 -	Média dos nutrientes dissolvidos da enchente e vazante das águas superficiais da foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares durante os períodos chuvoso e menos chuvoso.....	84

LISTA DE REAÇÕES

Reação 1 -	Fixação do nitrogênio atmosférico realizado por bactérias.....	23
Reação 2 e 3 -	Mineralização do N ou amonificação.....	23
Reação 4 e 5 -	Nitrificação.....	24
Reação 6 e 7 -	Reações químicas que ocorrem no interior dos organismos fotossintéticos após assimilação do nitrato e nitrito.....	25
Reação 8 e 9 -	Desnitrificação.....	25
Reação 10 -	Oxidação e redução de compostos nitrogenados.....	26
Reação 11 e 12 -	Oxidação da amônia.....	26
Reação 13, 14 e 15 -	Foto-dissociação do nitrogênio molecular e do ozônio até a formação do oxido de nitrogênio.....	26
Reação 16, 17 e 18 -	Reações de liberação do fosfato para meio aquático.....	28
Reação 19, 20, 21 -	Reações de biodisponibilidade do fósforo dissolvido.....	29
Reação 22 -	Decomposição de fontes de silicato.....	30
Reação 23 -	Respiração do sulfato.....	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CE -	Condutividade elétrica
CONAMA -	Conselho Nacional do Meio Ambiente
FN -	Foz Norte
FNC -	Foz Norte durante período chuvoso
FNS -	Foz Norte durante o período menos chuvoso
FS -	Foz Sul
FSC -	Foz Sul durante o período chuvoso
FSS -	Foz Sul durante o período menos chuvoso
INMET -	Instituto Nacional de Meteorologia
IP -	Índice pluviométrico
MOP -	Matéria orgânica particulada
MOD -	Matéria orgânica dissolvida
MPS -	Material particulado em suspensão
MO -	Matéria orgânica
OD -	Oxigênio dissolvido
NH ₃ -	Amônia
NH ₄ ⁺ -	Amônio
NO ₂ ⁻ -	Nitrito
NO ₃ ⁻ -	Nitrato
pH -	Potencial hidrogeniônico
PC -	Período chuvoso
PMC -	Período menos chuvoso
PO ₄ ³⁻ -	Fosfato
Sal -	Salinidade
Secchi -	Profundidade de Secchi
SiO ₂ -	Silicato
SO ₄ ²⁻ -	Sulfato
STD -	Sólidos totais dissolvidos
T (°C) -	Temperatura
ZCIT -	Zona de Convergência Intertropical
ZR -	Zona de maré de rio
ZM -	Zona de mistura
ZC -	Zona costeira
<LD -	Abaixo do limite de detecção

RESUMO

A caracterização das águas superficiais e intersticiais nos estuários é fundamental para desvendar as condições ambientais, qualidade ambiental e mudanças sazonais, que podem ocorrer em espaço menor como é o caso do furo da ilha de Colares. Este trabalho tem como objetivo mostrar a influência da sazonalidade nas águas estuarinas na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares e da contribuição das águas intersticiais para as águas superficiais. Os parâmetros físicos e químicos, e nutrientes contemplados são: índice pluviométrico (IP), temperatura, salinidade, pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, material particulado em suspensão, oxigênio dissolvido, profundidade de Secchi, nitrato, nitrito, N-amoniaco, fosfato, silicato e sulfato. A determinação destes parâmetros ocorreu de forma simultânea em cada foz do furo de Colares durante um ciclo de maré (13 horas) nos períodos chuvoso (10/04/2013) e menos chuvoso (05/10/2013). Os resultados revelam que a sazonalidade interfere nas condições abióticas das águas estuarinas do furo da ilha de Colares e deduz que o IP é o fator de maior efeito das mudanças dos parâmetros físicos e químicos e, sobretudo o maior responsável na mobilidade, disponibilidade e distribuição dos nutrientes dissolvidos, que foram encontrados em concentrações maiores no período chuvoso. Ainda os nutrientes nitrato e N-amoniaco foram considerados muito elevados na foz Norte, possivelmente relacionados com a influência de atividades antropogênicas. Contudo foram considerados dentro dos limites estabelecidos pela Resolução 357 da CONAMA/05. Na foz Sul ocorreu níveis de pH fora do padrão estipulado pela Resolução da CONAMA, porém o fenômeno foi considerado natural visto que este em específico se encontra distante de atividades antropogênicas. No período menos chuvoso o N-amoniaco foi considerado ausente na foz Norte e Sul. O manguezal foi considerado como fonte de salinidade, silicato e sulfato para as águas superficiais.

Palavra-Chave: Nutrientes dissolvidos. Parâmetros físicos e químicos. Furo da ilha de Colares. Água intersticial.

ABSTRACT

The characterization of surface and interstitial waters in estuaries is critical to unravel the environmental conditions, environmental quality and seasonal changes, which may occur in smaller space such as the hole in the island of Colares. This work aims to show the influence of seasonality in estuarine waters in the north and south of the mouth of the hole island of Colares and the contribution of pore waters to surface waters. The physical and chemical parameters and nutrients are included: rainfall (IP), temperature, salinity, pH, electrical conductivity, total dissolved solids, suspended particulate matter, dissolved oxygen, Secchi depth, nitrate, nitrite, N-ammonia, phosphate, silicate and sulfate. The determination of these parameters occurred simultaneously in each mouth of the hole necklaces over a tidal cycle (13 hours) in rainy (04/10/2013) and drier (10/05/2013) periods. The results show that seasonality affects abiotic conditions of estuarine waters bore the island of Colares and deduces that P1 is the most important factor to effect the changes of physical and chemical parameters, and especially the higher charge mobility, availability and distribution of dissolved nutrients, which were found in higher concentrations in the rainy season. Although the nutrients nitrate and N-ammonia were considered very high at the mouth North, possibly related to the influence of anthropogenic activities. However were considered within the limits established by CONAMA Resolution 357/05. Mouth occurred in South pH levels outside the standard stipulated by Resolution CONAMA, but the phenomenon was considered natural since in this specific is distant from anthropogenic activities. In less rainy period the N-ammonia was found to be absent in mouth North and South. The mangrove was considered as a source of salinity, silicate and sulfate to surface waters.

Keyword: Dissolved nutrients. Physic and chemical parameters. Hole the island of Colares-Pa. Interstitial water.

1 INTRODUÇÃO

Os estuários representam zonas de interface onde a terra, a água e a atmosfera interagem em equilíbrio dinâmico, sendo constantemente alterados por influências naturais e humanas, e considerados ambientes extremamente produtivos (Lopes *et al.* 2011), servindo de local de abrigo, reprodução e desenvolvimento de organismos aquáticos. Ainda, são ambientes ricos, constituídos por um grande depósito de nutrientes e de detritos orgânicos particulados e dissolvidos que ficam retidos nos sedimentos das margens adjacentes aos estuários e/ou nas florestas de mangue.

Ainda nos estuários têm-se várias atividades econômicas, como o turismo, a pesca, a exemplo da ilha de Colares, onde a pesca artesanal é a principal atividade (Governo do Pará 2005).

Devido à hidrodinâmica, o fluxo de maré, os aportes de nutrientes trazidos pelos rios às águas estuarinas são biologicamente mais produtivos que as águas dos rios e dos oceanos, sendo habitadas por diversas populações de organismos e por isso são consideradas grandes responsáveis pela biomassa dos ambientes aquáticos. Desta forma, este ambiente pode contribuir tanto para a conservação da biota aquática como para a subsistência de seres humanos que têm no estuário e no manguezal a sua sobrevivência (Cardoso 2009).

A sazonalidade tem papel importante como fator de modificação, zoneamento e dinâmica destes ambientes nos estuários. Essas modificações dos parâmetros hidrológicos do sistema, principalmente a salinidade (devido à osmo-regulação dos organismos aquáticos) e do oxigênio dissolvido (OD), controlam a colonização, diversidade e abundância dos organismos aquáticos em estuários. De acordo com Eby *et al.* (2005) muitas das características dos estuários são dominadas pela variabilidade espaço-temporal da temperatura, salinidade e do OD.

De acordo com Mello (2002), Moura (2007), Monteiro *et al.* (2008), Monteiro (2009), Alves (2010) e Rosa Filho *et al.* (2013), dentre os elementos meteorológicos, o índice pluviométrico (IP) tem sido considerado como maior fator controlador dos parâmetros físicos e químicos, e dos nutrientes dissolvidos (ND) nas águas estuarinas amazônicas. Pois o IP determina a vazão do rio, velocidade da corrente, penetração das águas salinas (salinidade), grau de lixiviação (disponibilidade dos nutrientes), modificações dos parâmetros hidrológicos (temperatura, salinidade, pH, OD, material particulado em suspensão e transparência), liberação ou retenção de matéria orgânica

particulada (MOP) e da matéria orgânica dissolvida (MOD) contidas nos sedimentos e na água intersticial para as águas mais superficiais, logo determina também a dinâmica dos nutrientes nos estuários.

Melo (2002) relata que a altura de ondas, influenciadas pela sazonalidade determinam a intensidade da movimentação dos sedimentos de fundo e da água intersticial, facilitando às trocas iônicas dos compostos químicos (nutrientes dissolvidos) que estavam aprisionados nos sedimentos e que se tornam disponíveis na água para os produtores primários. Este fato somado com o tempo de residência desses nutrientes aprisionados, que no contato com a hidrodinâmica tornam-se livres, permite o desenvolvimento biológico do manguezal, dos estuários e dos oceanos.

A salinidade tem forte relação com a sazonalidade e a maré, provocando o zoneamento salino nos estuários. A variação e modificação da salinidade no decorrer do espaço e tempo gera mudanças significativas na estrutura das comunidades planctônicas e no funcionamento ecológico dos ambientes aquáticos, ocorrendo uma substituição gradativa das espécies existentes por outras capazes de sobreviver a novas condições de salinidade mais elevada, ou vice-versa.

Já de acordo com Esteves (1998), o OD é um dos parâmetros mais importantes na dinâmica e na caracterização de ecossistemas aquáticos. O mesmo autor afirma que as principais fontes desse composto, são a atmosfera e a fotossíntese realizada pelos produtores primários. A alta concentração de matéria orgânica (MO), a baixa salinidade e a baixa taxa de fotossíntese realizada pelo fitoplâncton, causada pela redução da transparência da água, são fatores que atuam diretamente para os déficits de OD em ecossistemas aquáticos. Entretanto, o alto nível do IP seria o elemento climático responsável para este efeito.

A mobilidade, disponibilidade e transporte dos compostos químicos e nutrientes em estuários, estariam relacionados com suas afinidades físico e química, receptividade biológica, relação ao fator tempo de residência (contato), mas principalmente com a agitação e lixiviação causada pelo aumento do IP, vazão do rio, velocidade das correntes, e altura das ondas.

Tanto os comportamentos dos parâmetros físico e químicos, como a liberação e retenção dos nutrientes das águas intersticiais, dependem do IP (sazonalidade) e definem toda cadeia ecológica dos estuários. Havendo um padrão físico e químico, e de nutrientes dissolvidos no período de maior IP e um padrão diferente com a sua diminuição, sendo este o fator preponderante na determinação dos ambientes de estuários amazônicos.

Manderson *et al.* (2003; 2004) e Selleslagh *et al.* (2009) afirmam que as características físicas e químicas definem os componentes estruturais do meio (vegetação, rochas, solos e batimetria) que fornecem abrigos às espécies marinhas, fluviais e estuarinas.

Melo (2002) mostrou que os nutrientes dissolvidos e a MOD alcançam valores mais elevados na baixamar, indicando o fluxo e interação de água intersticial do manguezal para o canal de maré, enquanto que a MOP varia em função da velocidade das correntes de maré. O mesmo autor observa que durante o período chuvoso ocorre maior exportação da MOD e da MOP do manguezal, para o estuário através do processo de lixiviação.

Monteiro (2009) mostrou que no rio Paracauari que as concentrações dos nutrientes foram mais elevadas durante o período chuvoso com máximo de nitrato, nitrito e N-amoniaco de 9,35 μM ; 0,1 μM ; 0,1 μM , respectivamente.

O furo da ilha de Colares tem comprimento de 36 km e largura de 2.110 m na foz Norte e 430 m na foz Sul. A profundidade máxima é de 10 m. A foz Norte (rio Guajará-mirim) e foz Sul (Laura) enquadram-se na bacia hidrográfica do Guamá-Moju, sendo consideradas as principais descargas fluviais da ilha de Colares, em conexão direta com a baía do Marajó.

A foz Norte da ilha de Colares recebe águas do rio Baiacu, e de vários igarapés, destacando o Tauapará, Itajurá, Mariteua, Fazenda, Maracajá e Itaqueçaua. Também fazem parte desta rede hidrográfica o rio Tupinambá e os igarapés Tauandeua, Chácara, Arari, Boca Larga. Já a foz Sul recebe as águas do rio Bituba (Cardoso 2009). Ambos estão inseridos no estuário do rio Pará com características de águas do tipo brancas.

Na área estudada a sazonalidade é bem definida com período chuvoso que inicia em dezembro e termina em abril, pico em março com acumulado de 742,5 mm. O período menos chuvoso inicia em maio e termina em novembro com depressão em outubro com acumulado de 44,3 mm (Inmet 2013). O índice pluviométrico total anual teve um acúmulo de 3.562,5 mm no ano 2013.

As temperaturas na região são elevadas, com mínima de 26°C e máximas de 39°C, com média anual de 32,5°C. O clima é equatorial amazônico, quente e úmido. Entretanto, nas proximidades das margens do rio Guajará-mirim, o clima torna-se suave devido a presença do manguezal (Sercim 1989, Lira *et al.* 1989).

Apesar da complexidade e importância dos estuários amazônicos ainda são muito escassos os trabalhos sobre a dinâmica sazonal dos parâmetros físicos e químicos, e dos nutrientes dissolvidos no estuário do rio Pará/baía do Marajó.

Entretanto, pode-se citar: na margem direita da baía do Marajó - Cardoso (2009) - Dinâmica da Comunidade Microfitoplanctônica relacionada aos Parâmetros Físico-Químicos do Estuário do Rio Guajará-Mirim (Vigia-Pa), Ramos (2007) - Qualidade Ambiental, Distribuição e Densidade do Mesoplâncton do Estuário de Guajará-Mirim, Vigia de Nazaré, NE do Estado do Pará; na margem esquerda (ilha do Marajó) - Monteiro (2009) - Dinâmica dos Parâmetros Abióticos na Zona de Mistura do Estuário do Rio Paracauari, Ilha do Marajó e Alves (2010) - Hidrologia e Biomassa Fitoplanctônica do Sistema Flúvio-Estuarino do Rio Arari (Ilha do Marajó).

Esta dissertação de mestrado apresenta o comportamento dos parâmetros físicos e químicos, e dos nutrientes dissolvidos, das águas superficial e intersticial no furo da ilha de Colares durante um ciclo de maré, adotando a sazonalidade regional (períodos chuvoso e menos chuvoso).

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Caracterizar o comportamento sazonal dos parâmetros físicos (temperatura, pH, salinidade, condutividade elétrica, profundidade de Secchi) e químicos (sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvido, material particulado em suspensão) e dos nutrientes dissolvidos (nitrato, nitrito, N-amoniaco, fosfato, silicato e sulfato) nas águas estuarinas da foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A amostragem de água e de sedimento foi realizada no furo da ilha de Colares na foz Norte / rio Guajará-Mirim/ Vigia ($0^{\circ} 49' 3.72''\text{S} / 48^{\circ}10' 16.26''\text{O}$), e na foz Sul / Laura ($1^{\circ}1'11.29''\text{S} / 48^{\circ}18' 28.06''\text{O}$)(Tabela 1, Figuras 1 e 2). O acesso à foz Sul (Laura) é feito pela rodovia BR-316, PA-238 e PA-140 terminando na localidade de Penhalonga, onde o transporte é realizado via embarcação. Já o acesso a foz Norte inicia-se pela BR-316 até o final da via da PA-238, onde se encontra o município de Vigia que dá acesso direto ao / rio Guajará-mirim.

Tabela 1 - Pontos de coleta, localização e coordenadas geográficas.

Pontos de Coletas	Localização	Coordenadas Geográficas
P1	Foz Norte (rio Guajará-mirim - Vigia)	$0^{\circ} 49' 3.72''\text{S} / 48^{\circ}10' 16.26''\text{O}$
P2	Foz Sul (Laura)	$1^{\circ}1'11.29''\text{S} / 48^{\circ}18' 28.06''\text{O}$

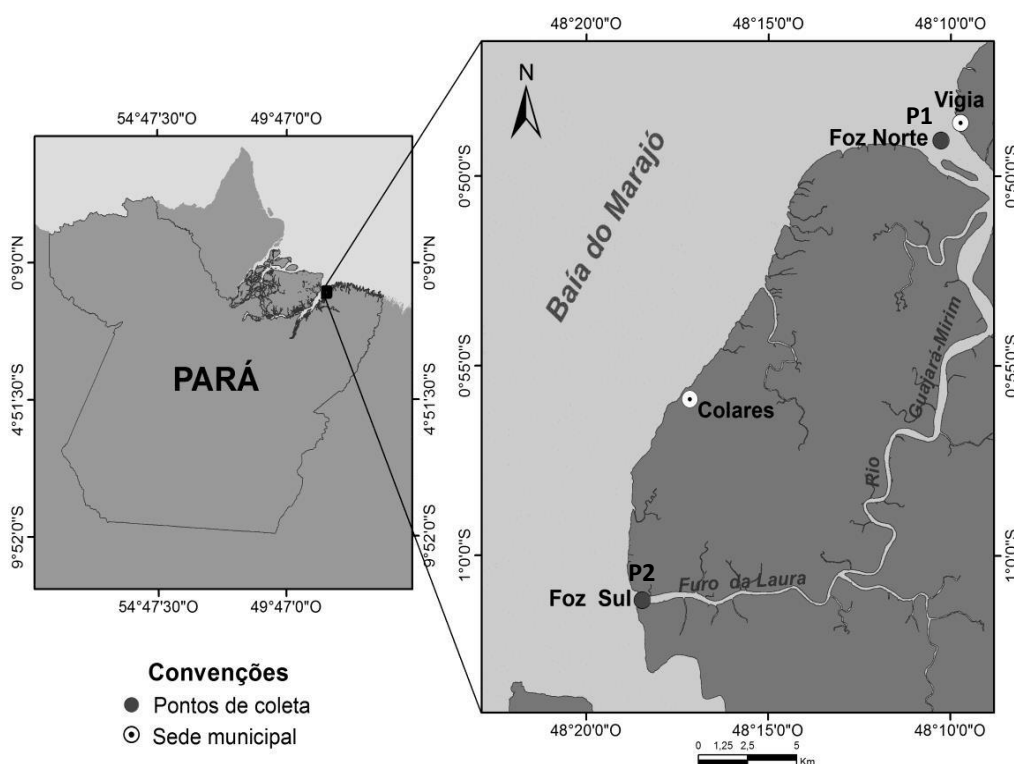


Figura 1- Localização geográfica dos sítios de amostragem no furo da ilha de Colares: P1 – foz Norte (rio Guajará-mirim / Vigia), P2 – foz Sul (Laura).



Figura 2 – A: Estação de coleta na foz Norte (rio Guajará-mirim), B: trapiche de Vigia (rio Guajará-mirim), C: mercado pesqueiro de Vigia, D: águas brancas do rio Guajará-mirim, E: estação de coleta na foz Sul (Laura) e F: manguezal da Laura.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 DEFINIÇÕES DE ESTUÁRIOS

Segundo Fairbridge (1981) o estuário é uma entrada do mar num vale de um rio até o limite máximo da preamar, sendo dividido em três setores: a) estuário marinho ou inferior, com ligação livre ao oceano aberto; b) estuário médio, sujeito a forte mistura de águas salgada e doce; c) estuário superior ou fluvial, caracterizado pela presença de água doce, mas sujeito à ação diária das marés (Figura 3).

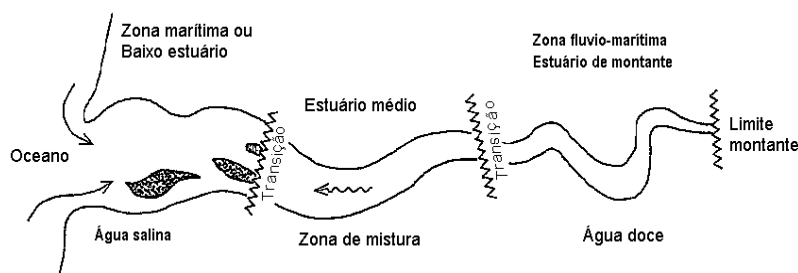


Figura 3 - Representação esquemática de um estuário e suas divisões em setores. Fonte: Fairbridge 1981.

Kjerfve (1987) subdivide os estuários em três zonas distintas: a) Zona de maré de rio (ZR): correspondente a parte fluvial com salinidade inferior a 1, que ainda está sujeita a influência da maré; b) Zona de mistura (ZM): onde ocorre a mistura da água doce proveniente da drenagem continental com a água oceânica; c) Zona costeira (ZC): corresponde a região costeira adjacente, que é delimita pela pluma de maré vazante (Figura 4).

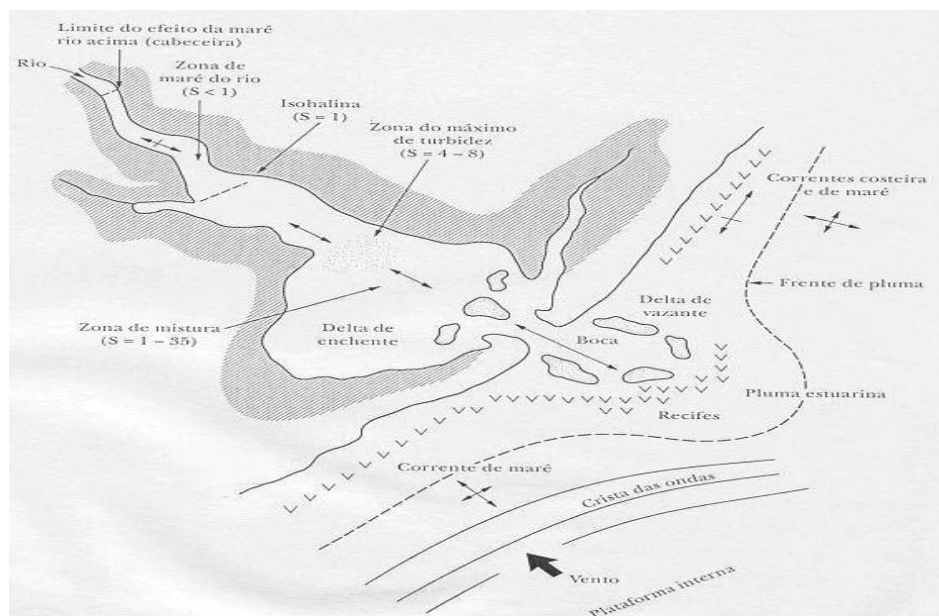


Figura 4 - Esquema geomorfológico de um estuário. Fonte: Kjerfve 2002, adaptado por Miranda & Castro 2002.

Segundo Brown *et al.* (1989), os estuários podem ser subdivididos em três zonas, dependendo dos fatores climáticos (chuvas e taxa de evaporação), que poderiam mudar de tamanho e de lugar, e migrar de zonas conforme a sazonalidade. Segundo Brown *et al.* (1989) a zona externa é o local de entrada da água salgada no estuário, a zona central é o local onde ocorre a mistura das águas doce e salgada e a zona interna onde ocorre o domínio da água doce com influência de maré (Figura 5).

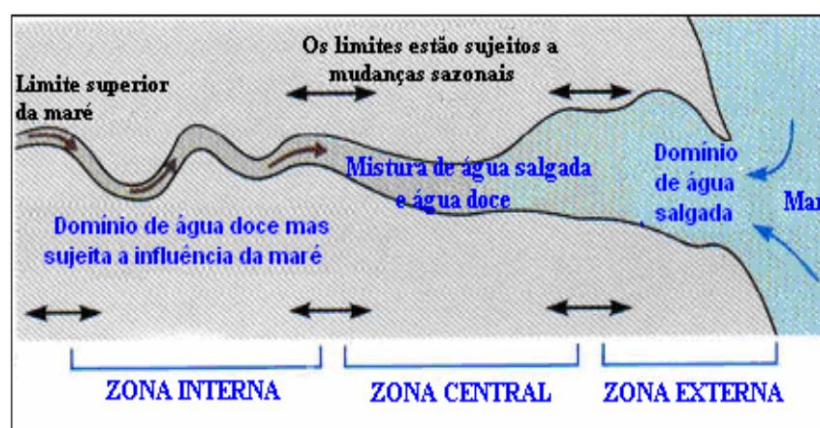


Figura 5 - Mapa de zoneamento do estuário em partes: interna, central e externa. Os limites das zonas de transição mudam de acordo com a sazonalidade, clima e regime de marés. Fonte: Brown *et al.* 1989.

Dalrymple *et al.* (1992) definiram o estuário como um sistema de vales afogados na qual recebe sedimentos marinhos e fluviais e, por conseguinte, contém fácies influenciada por maré, onda e processos fluviais (Figura 6).

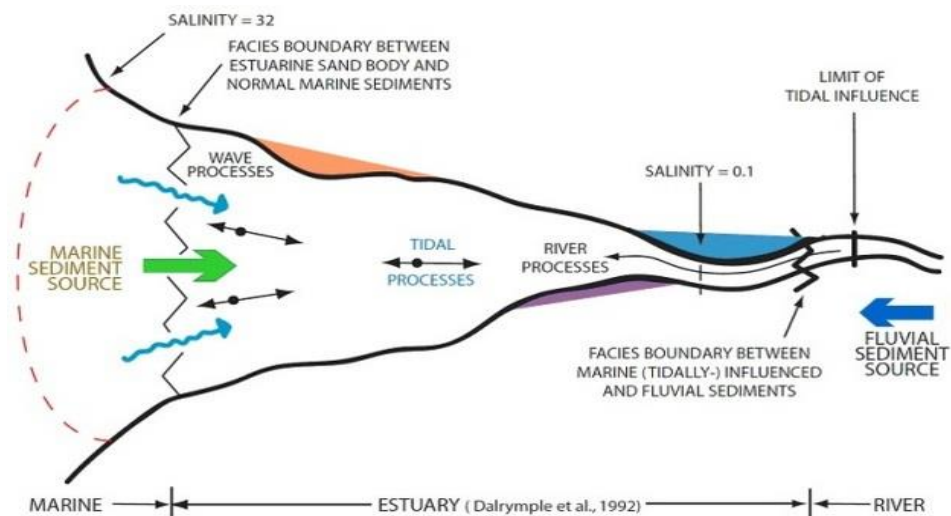


Figura 6 - Divisão dos estuários de acordo com o regime de energia, tipo de sedimentos e morfologia: zonas interna, central e externa. Fonte: Dalrymple *et al.* 1992.

Dalrymple *et al.* (1992) ainda subdividiram os estuários em três zonas: a) zona externa ou marinha, com ondas na foz, alta energia de correntes de maré e baixa atuação de corrente fluvial, ocorrendo deposição de sedimentos grosseiros; b) zona central, com atenuação da energia total entre o rio e as ondas e maré, da montante e jusante para a parte central do estuário, sendo depositados sedimentos mais finos, de origem fluvial e marinho e finalmente c) zona interna de domínio fluvial, com energia mínima de ação das marés para montante, com deposição de sedimentos grosseiros (Figura 7).

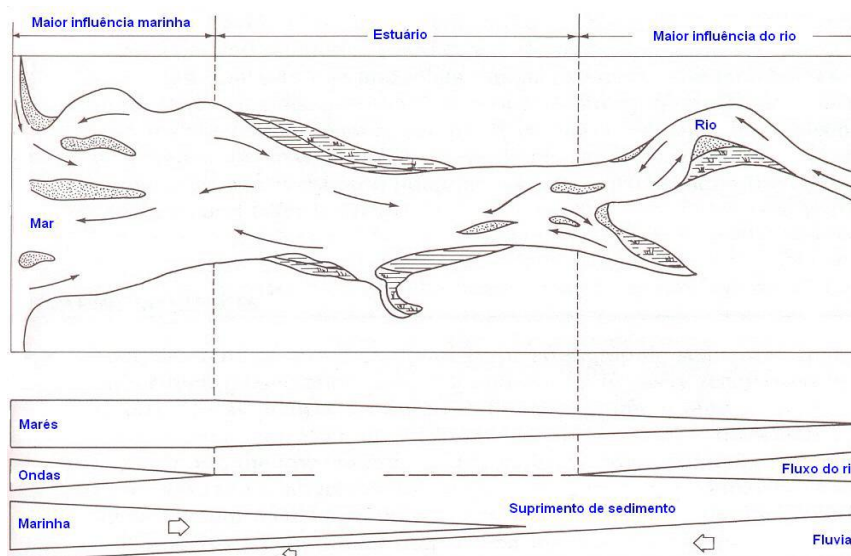


Figura 7 - Modelo de fácies sedimentares de acordo com a energia hidrodinâmica. Fonte: Dalrymple *et al.* 1992.

Já Elliott & Mcluskly (2002), subdividiram os estuários de acordo com a salinidade na água: rio cabeceira do estuário (limnético, salinidade < 0,5) até o mar (euhalino, salinidade 30 até 40)(Tabela 2).

Tabela 2 - Classificação da divisão estuarina de acordo com a concentração de salinidade.

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

Fonte: Elliott & Mcluskly 2002.

4.2 CLASSIFICAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DOS ESTUÁRIOS

4.2.1 Geomorfologia de acordo com Pritchard (1967)

Pritchard (1967) classificou os estuários segundo a geomorfologia como: estuários de planície costeira; estuários do tipo *Fjord*; estuários em forma de barra (Figura 8).

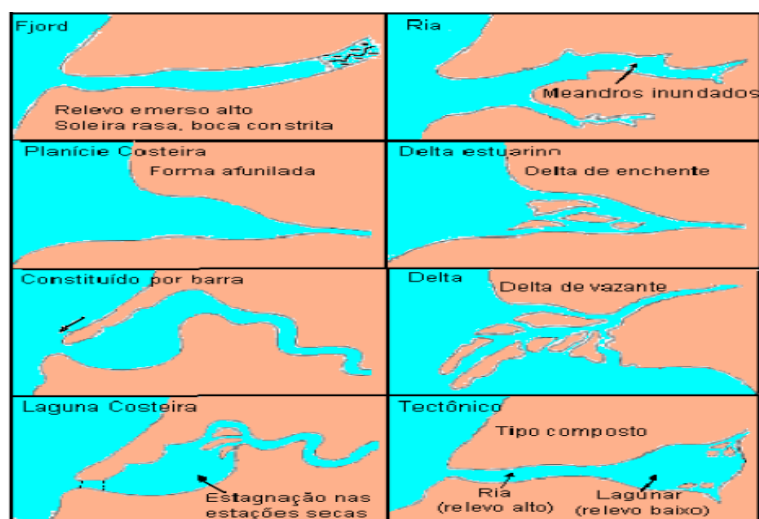


Figura 8 - Principais tipos de estuários. Fonte: Fairbridge 1981, Miranda & Castro 2002.

4.2.1.1 Estuários de Planície Costeira

Segundo Pritchard (1967) este tipo de estuário formou-se durante a transgressão do mar (Holoceno), que inundou os vales dos rios. Este processo de inundação foi muito mais acentuado do que a sedimentação trazida pelos rios, tornando a topografia atual muito semelhante a um vale de rio. Os estuários do tipo de planície costeira são rasos com

profundidade máxima de 30 m. A área da seção transversal aumenta o estuário abaixo, às vezes de forma exponencial a configuração geométrica da seção transversal com formato em V. Outra característica comum é o canal central que se apresenta de forma sinuosa. Isto porque há processo recente e contínuo de sedimentação. Assim esse tipo de estuário apresenta em seu fundo lama, com sedimentos finos na sua parte superior, os quais se tornam mais grossos em direção à foz. Os exemplos desse tipo de estuário são: Chesapeake Bay e Delaware Bay na costa leste dos USA; o estuário do rio São Francisco, rio de Contas e rio Potengi, no litoral brasileiro (Miranda & Castro 2002).

4.2.1.2 Fjord

Segundo Pritchard (1967) os *ffjords* são formados em áreas recobertas pelas geleiras (altas latitudes), em regiões montanhosas durante o Pleistoceno (último máximo glacial). Estes estuários foram invadidos 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 preexistentes, e os blocos de rochas desprendem das extremidades e do peitoril das elevações, particularmente na foz e na intersecção dos *ffjords* (Miranda & Castro 2002). Os *ffjords* são comuns no Alasca e no Chile e podem chegar a 100 km de comprimento. Seu corte transversal é quase retangular, com forma de leito em U (Miranda & Castro 2002). Os *ffjords* têm fundos rochosos e os depósitos de sedimentos ocorrem em suas cabeceiras. As descargas dos rios são pequenas se comparadas com o volume total desses ambientes. Alguns exemplos de *ffjords* são: *Loch Etive* na Escócia, *Sagne Fjord* na Noruega e *Milford Sound* na Nova Zelândia (Miranda & Castro 2002).

4.2.1.3 Estuários em forma de barra

Segundo Pritchard (1967) estes tipos de estuários se formaram a partir do afogamento dos vales de rios durante a transgressão holocênica. Esse tipo de estuário é interrompido, servindo de barreira contra as ondas nas praias. Estes são bem desenvolvidos nas áreas, onde a variação de maré é muito restrita com grande volume de sedimentos. Os estuários em forma de barra estão associados a depósitos costeiros, com poucos metros de profundidade. São comuns os lagos extensos e rasos que são encontrados em regiões tropicais ou em áreas com depósitos de sedimentos costeiros ativos. Exemplos deste tipo

de estuário são: Estuário *Vellar* na Índia; Complexo estuarino-lagunar de Cananeia-Iguape (Miranda & Castro 2002).

4.2.1.4 Outros Estuários

Os outros tipos de estuários são formados por outros processos costeiros: falhas tectônicas, erupções vulcânicas, tremores, deslizamentos de terra ou morfologia alterada por processos recentes (últimos milênios) de sedimentação originando os deltas e rias (Miranda & Castro 2002).

Os deltas estuarinos ou delta de enchente ocorrem em regiões de macro ou hipermarés, com a ação moderada ou grande de ondas e com o transporte fluvial de alta concentração de sedimentos em suspensão, este processo sedimentar recente favoreceu o crescimento de ilhas na parte interior do estuário originando os deltas. Exemplo deste tipo de estuário é o rio Amazonas (Miranda & Castro 2002).

Deltas de vazante encontram-se em condições de concentrações altas de sedimentos em suspensão, mas em regiões de micro-maré, com ondas de energia moderada, a sedimentação tem lugar na plataforma continental interna, formando bancos de areia e ilhas. Exemplo deste tipo de estuário é o rio Mississipi (Miranda & Castro 2002).

A "ria" tem origem tectônica, que formou-se por elevação da parte continental, onde estava localizado o vale interior do rio, aliviado o peso de glaciares durante o descongelamento. O rio foi inundado com a elevação eustática do nível relativo do mar, formando este tipo de estuário, comuns em regiões montanhosas de alta latitude, que eram anteriormente ocupadas por glaciares (Miranda & Castro 2002).

4.2.2 Geomorfologia de acordo com Hayes (1975)

Hayes (1975) classifica os estuários, baseado na altura da maré: (1) micromaré < 2 m, (2) mesomaré entre 2 m a 4 m e (3) macromarés > 4 m (Figura 9). Os estuários de micromarés e mesomarés estão associados a restingas e ocasionais canais de conexão entre o estuário ou laguna, à retaguarda do mar. Já os estuários largos, com ampla foz e de forma longitudinal em funil são característicos de regiões de macromarés.

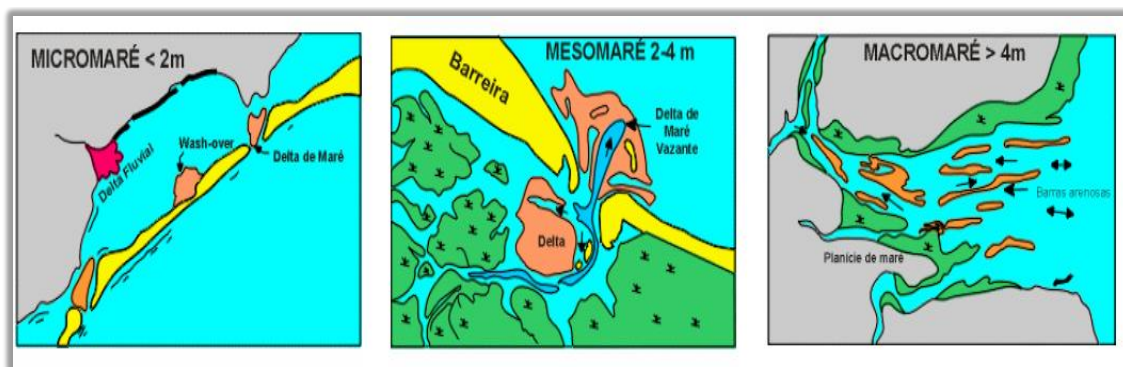


Figura 9 - Classificação de maré de acordo com a geomorfologia de estuários e tamanho de ondas. Fonte: Hayes 1975.

4.3 CLASSIFICAÇÃO DOS ESTUÁRIOS DE ACORDO COM A ESTRATIFICAÇÃO SALINA

De acordo com Dyer (1995) e Geyer (1997) a circulação das águas de um estuário depende das condições hidrodinâmicas geradas pela combinação ou predominância, das descargas de água doce, da propagação da onda de maré e da influência do vento. Estas forçantes condicionam a extensão e a posição das zonas de rio (ZR), de mistura (ZM) e costeira (ZC).

Uma classificação baseada nos padrões de variação de salinidade foi introduzida por Pritchard (1952), subdividindo os estuários em: cunha salino, parcialmente misturado ou parcialmente estratificado e verticalmente homogêneo ou bem misturado.

4.3.1 Cunha Salina

O padrão característico destes estuários e que são dominados pela ação fluvial. A água doce que chega ao sistema, em função de sua menor densidade, tende a se manter na superfície, movendo-se em direção ao oceano. Já a água marinha, com alta densidade, penetra no interior do estuário pelo fundo, com uma diferença acentuada entre as águas doces da superfície, e as águas salgadas do fundo (Figura 10).

4.3.2 Parcialmente Misturado ou Parcialmente Estratificado

Ocorre em estuários, onde as forçantes fluvial e de maré são equivalentes ou próximos disso. O aumento de salinidade se dá de maneira gradativa tanto na vertical

quanto na horizontal (Figura 10). A zona de turbidez máxima é característica desse tipo de estuário.

4.3.3 Verticalmente Homogêneo ou Bem Misturado

Este tipo de estuário é dominado por marés. O perfil vertical de salinidade é homogêneo, ou seja, a salinidade das águas superficiais é igual à de fundo, observando apenas o gradiente longitudinal (Figura 10).

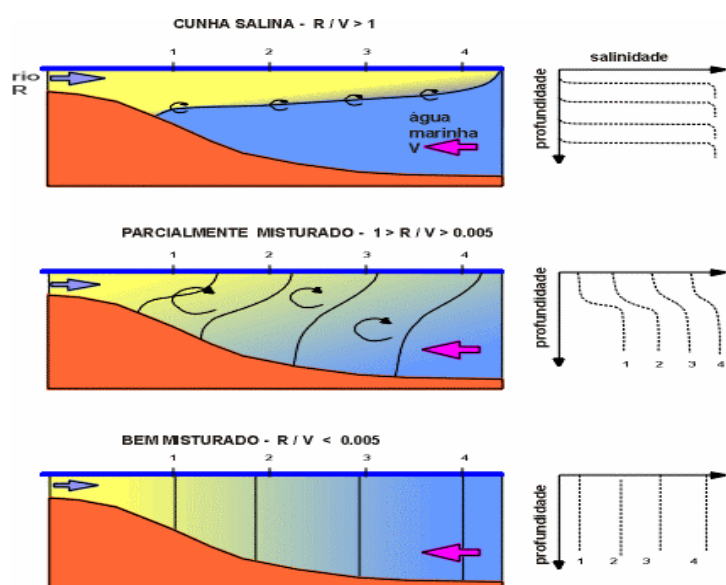


Figura 10 - Modelo de padrões de mistura de águas estuarinas. A) cunha salina, B) parcialmente misturado ou parcialmente estratificado e C) verticalmente homogêneo ou bem misturado. Fonte: Pritchard 1952.

4.4 CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS DA AMAZÔNIA

A classificação das águas da bacia do rio Amazonas foi proposta por Sioli (1984): brancas, claras e pretas. Esta classificação é baseada nas propriedades ópticas, físicas, químicas e mineralógicas obtidas pela carga sólida e dissolvidas na água. A distinção entre as águas na bacia depende das formações geológicas da região e das variações das características químicas e biológicas na água, as quais estão relacionadas ao período hidrológico da região (Junk 1983, Junk & Furch 1984). As características físicas e químicas das águas que percorrem a bacia amazônica variam em função da origem da água, do tipo de solo que estão em torno da drenagem e das condições climáticas.

4.4.1 Águas Brancas

Os rios de águas brancas (Tabela 3) nascem nas regiões andinas e pré-andinas, onde ocorrem processos intensos de erosão, causados pela exposição do relevo somando o grande IP. Esses efeitos conferem aos rios que nascem nesta região uma coloração branca, barrenta, amarelada e turva. O material particulado em suspensão (MPS) é composto por sedimentos de granulação fina (silte) com pouca areia fina e argila. OpH das águas brancas está próximo ao neutro entre 6,0 a 7,0. Devido ao bicarbonato diluído na água que atua como tampão e aos elevados índices de condutância específica. As águas brancas são encontradas nos rios Solimões, Amazonas, Madeira, Purus, Juru, Jutai e Japurá.

Tabela 3 - Caracterização das águas brancas.

Tipos de águas da Amazônia	Águas Brancas
Cor	branca, barrenta ou amarelada
Transparência	opaco, turvo
Sais Minerais Dissolvidos	Ca e Mg (maior proporção); Na e K (menores proporções)
Granulação	fina (silte) com pouca areia e argila
Mineralogia	quartzo, mica, feldspatos, esmectita, illita e caulinita
pH	6 até 7
Transparência (cm)	10 até 50

Fonte: Sioli 1984.

4.4.2 Águas Pretas

As águas pretas são parecidas com café, com coloração marrom-escuro ou avermelhada, carregam poucos sedimentos e tem alta concentração de MOP e MOD (Tabela 4). A transparência destas águas alcança a profundidade de 1,5 m a 2,5 m eo pH fica em torno de 4, em função da presença de substâncias húmicas, associadas a solos podzolicos. Os minerais dissolvidos desse tipo de água apresentam baixas concentrações. As águas pretas são encontradas nos rios Negro e Urubu.

Tabela 4 - Características das águas pretas.

Tipos de águas da Amazônia	Águas Pretas
Cor	negro, marrom escuro, avermelhado
Transparência	Transparente
Sais Minerais Dissolvidos	Baixo
Granulação	Baixo
Mineralogia	Ausente
pH	4
Transparência (cm)	150 até 250

Fonte: Sioli 1984.

4.4.3 Águas Claras

Essas águas residem em regiões de relevo suave e de formação geológica antiga, compostas principalmente por rochas mais consolidadas, e os processos de erosão não são intensos (Tabela 5). Estas condições contribuem na geração de águas com transparência cristalina, às vezes com coloração um pouco esverdeada, devido à presença de fitoplâncton. Estas águas tem baixo MPS, e transparência é elevada com valores próximos a 4 m de profundidade, o pH é variável, mas às vezes são ácido, os minerais dissolvidos apresentam baixas concentrações. Estas águas ocorrem nos rios Tapajós, Xingu e Trombetas.

Tabela 5 - Quadro da caracterização das águas claras.

Tipos de águas da Amazônia	Águas Claras
Cor	Clara ou fitoplanctônico
Transparência	Transparente
Sais Minerais Dissolvidos	Baixo
Granulação	Baixo
Mineralogia	Ausente
pH	As vezes ácido
Transparência (cm)	400

Fonte: Sioli 1984.

4.5 CARACTERÍSTICAS DOS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS EM ESTUÁRIOS TROPICAIS

Os estudos dos parâmetros físicos e químicos são importantes, pois definem as condições hidrológicas de acordo com o tipo de ambiente, clima, sazonalidade e mensura ações antrópicas em estuários. Porém diversos autores como Mello (2002), Moura (2007), Monteiro *et al.* (2008), Monteiro (2009), Alves (2010) atribuem a sazonalidade como fator de maior relevância na mudança do comportamento físico e químicas nos estuários. Muitos desses parâmetros físico e químicos definem o zoneamento da biodiversidade nos estuários de acordo com as afinidades das espécies com os parâmetros mais confortáveis a sua sobrevivência.

4.5.1 Temperatura (T°)

A temperatura é um parâmetro fundamental para a caracterização dos estuários, e a dedução do conteúdo da fauna e flora específicas, pela influência que exercem no

metabolismo dos seres vivos. Este parâmetro varia verticalmente e horizontalmente na coluna d'água dos estuários e controla a distribuição dos organismos produtores e consumidores, agindo como fator limitante na reprodução e no desenvolvimento dos seres vivos.

Sipaúba-Tavares (1998) acrescenta que a temperatura é uma variável física que assume grande importância na produtividade biológica da água, cujos ritmos dependem dela, sendo considerado um dos fatores ecológicos decisivos dentro dos sistemas e o principal limitante da distribuição geográfica de muitas espécies de vegetais e animais.

Ainda, a combinação da temperatura e da salinidade rege os processos fundamentais da mecânica marinha, como a identificação de massas de água, de sistema de correntes e do aporte fluvial de elementos nutritivos na camada de mistura (Schmiegelow 2004, Pereira & Soares-Gomes 2002).

Dependendo da quantidade de irradiação solar e a permanência da radiação eletromagnética convertida em radiação infravermelha na área, define o clima local. Outros fatores como nuvens, vapor de água, interferem na manutenção e variação da temperatura.

Honorato Da Silva *et al.* (2004) afirmam que nos estuários tropicais a temperatura é sempre elevada e as pequenas variações que ocorrem durante o ciclo sazonal, dependem do grau de insolação e de outras condições meteorológicas.

A sazonalidade da linha do Equador e das regiões próximas é definida como períodos chuvoso e menos chuvoso, com um alto índice de evaporação e pluviométrico.

A temperatura também controla a propriedade de retenção de gases nas massas de água. Na região amazônica, devido às elevadas temperaturas, os mesmos apresentam capacidade limitada de conter gases em suas massas, sugerindo condições de baixas concentrações de OD.

4.5.2 Salinidade (Sal)

A salinidade é controlada pelos índices de evaporação e pluviométricos. Assim como a temperatura, a salinidade é um fator fundamental no metabolismo, distribuição e age como fator limitante da ocorrência da fauna e flora nos estuários. Na região amazônica a salinidade das águas estuarinas é baixa, devido aos altos índices pluviométricos e alta vazão dos seus rios caudalosos, e mesmo nos meses de pouca chuva, a drenagem de rios é abastecida com as águas dos aquíferos livres (mais superficiais) reservas que são depositadas durante o período chuvoso, diluindo assim a salinidade proveniente da

penetração das águas marinhas. Essas águas dos aquíferos servem como amortecedor do aumento excessivo da salinidade e dominância do oceano sobre a pluma estuarina.

Segundo Feitosa *et al.* (1999), a salinidade é importante, pois determina as zonas de desenvolvimento e de colonização dos organismos nos estuários. Seu comportamento oscila em função da maré e da vazão dos rios, e os organismos que habitam estas áreas precisam estar adaptados às periódicas mudanças salinas. Além de servir para delimitar os limites do estuário, estes autores acrescentam que a salinidade influencia na distribuição dos organismos, podendo ser considerada como uma barreira ecológica para as espécies conhecidas como estenoalinas (Tabela 6).

Tabela 6 - Classificação de águas salobras segundo sugestão do Symposium of Brackish Waters, 1958, The Venice System.

Zona	Salinidade (‰)
Hiperalina	>40
Eurihalina	< 40 até 30
Mixohalina	40 até 30
Mixoeurihalina	>30
(mixo) polihalina	< 30 até 18
(mixo) mesohalina	< 18 até 5
(mixo) oligohalinas	< 5 até 0,5
Água doce	< 0,5

Fonte: Esteves 1998.

4.5.3 Potencial Hidrogeniônica (pH)

O pH nos estuários sofre interferência das marés, atividade fotossintética, respiração dos organismos, e disponibilidade dos compostos orgânicos e inorgânicos no meio aquático. O pH controla ainda o metabolismo, distribuição e age como fator limitante na fauna estuarina.

McNeely *et al.* (1979) afirmam que o pH é um fator importante na análise de água, quanto a determinação das espécies químicas dominantes, alteração da disponibilidade dos nutrientes dissolvidos e o grau de toxicidade de muitos elementos traços em ambiente aquáticos.

Já Protazio *et al.* (2004) afirmam que a medição do pH das águas serve na interpretação da reação que esteja acontecendo no momento, pois este parâmetro controla as formas químicas dominantes do ambiente e vice-versa. Sendo que o pH também pode interferir na capacidade de adsorção do fósforo sobre os óxidos / hidróxidos de ferro e nas argilas, além de interferir no metabolismo das comunidades estuarinas, pois altera a permeabilidade da membrana celular dos organismos, e determina a disponibilidade e o consumo dos nutrientes no ambiente.

Nos estuários amazônicos, o pH é baixo e está associado com o alto teor de MO que é lixiviada para os rios durante o período chuvoso e é depositado no fundo e nas margens. Processos da decomposição da MO são comuns em ambientes aquáticos amazônicos e tem como consequência a diminuição na quantidade de OD disponível na água (Maier 1987), atribuindo ao pH relação direta com a disponibilidade do OD na água.

4.5.4 Condutividade Elétrica (CE)

De acordo com Santos (1997) a CE é controlada pelo tipo de rocha onde está implantada a bacia fluvial. Constitui uma das variáveis mais importantes para o ambiente aquático, visto que pode fornecer importantes informações sobre o metabolismo aquático, como fenômenos importantes que ocorram na sua bacia. Os valores de condutividade elétrica também podem ajudar na detecção de fontes poluidoras nos ecossistemas aquáticos. Ainda, a CE está diretamente relacionada com a salinidade, logo a CE pode também indicar a influência dos oceanos sobre o estuário.

Protazio *et al.* (2004) relatam que este parâmetro pode favorecer a floculação dos minerais argilosos e hidróxidos coloidais de ferro e alumínio, que por terem uma alta reatividade. Isto favorece a precipitação e a deposição de vários compostos químicos dissolvidos na água.

Assim como a salinidade, a CE nos estuários amazônicos é considerada baixa devido ao alto índice pluviométrico, grande vazão do rio e em períodos menos chuvosos o abastecimento das águas dos rios pelos aquíferos.

4.5.5 Oxigênio Dissolvido (OD)

O OD é fundamental na manutenção do metabolismo, distribuição dos organismos e é considerado como fator limitante para a fauna estuarina. A presença ou não de OD representa um fator determinante para as formas químicas existentes nos estuário, bem como a mobilidade das formas químicas, sendo um parâmetro físico e químico que controla o comportamento dos nutrientes nos sistemas aquáticos.

A solubilidade do OD, em ambientes salobros e salinos é controlada pelo fator temperatura, onde a temperatura elevada facilita que o O₂ da água escape para a atmosfera, o contrário retém o gás nas massas de águas.

Em geral, a grande quantidade de MOP e MOD nos estuários amazônicos combinando com as elevadas temperaturas, diminuem consideravelmente o OD produzido pelos produtores. Maier (1987) atribui aos processos da decomposição da MO comum em ambientes aquáticos amazônicos que tem como consequência a diminuição na quantidade de OD disponível na água.

Por isso vários autores como Junk *et al.* (1981); Melack e Fisher (1983); Esteves (1998) e Alves (2010) propõem que o OD encontrado nas águas dos estuários amazônicos é oriundo de trocas gasosas com a atmosfera. Esta atribuição a respeito das águas dos estuários amazônicos toma força, pois a quantidade da MOP e MOD somados com a presença de altas concentrações de MPS presentes na água contribui negativamente na disponibilidade do OD. Nesta condição, o MPS limita-se a penetração da luz nas primeiras camadas de água, logo a produtividade algal concentra-se a uma área muito pequena na lâmina d'água, conseqüentemente deduz-se que a produtividade primária não seja a principal fonte de OD nas águas dos estuários amazônicos.

4.5.6 Material Particulado em Suspensão (MPS)

O MPS tem disponibilidade diretamente relacionada com o IP, vazão do rio e maré. Este parâmetro é inversamente proporcional à atividade dos produtores primários, sendo o aumento do MPS, provoca a diminuição considerável da concentração do OD, o que interfere nas formas químicas na água ou vice-versa.

Devido às águas amazônicas serem compostas por águas brancas, estas apresentam altas concentrações de MPS. Segundo Esteves (1998) a composição do MPS (argila e silte), interfere negativamente principalmente nas concentrações de fósforo dissolvido, caracterizando as águas brancas com baixas concentrações de fósforo dissolvido nessas águas.

4.5.7 Transparência da Água

A transparência é um parâmetro que determina a zona eufótica e quantifica a capacidade de penetração da luz na água, este é fundamental para a realização da fotossíntese feita pelos produtores primários. De acordo com Mota (2003) a transparência da água é inversamente proporcional com a quantidade de MOP, MOD e MPS presentes no ecossistema. Nos estuários amazônicos principalmente aqueles que se enquadram na

classificação de Sioli (1984) como águas brancas, tem pouca transparência em função do alto teor de MPS em suas águas.

4.6 DINÂMICA DOS NUTRIENTES INORGÂNICOS

Os nutrientes são definidos como aqueles compostos que participam funcionalmente no processo metabólico dos seres vivos e que se encontram dissolvidos na água. Segundo Chester & Riley (1989) as espécies químicas de nitrogênio, fósforo e silício são considerados limitantes na produção primária. A disponibilidade, distribuição e mobilidade dessas espécies química tornam-se mais intensa, com o aumento do IP, aumento da vazão dos rios e da dinâmica da maré que provocam a resuspensão dos sedimentos de fundo e das áreas adjacentes dos estuários, facilitando essas trocas de materiais em estuários.

Melo (2002) acrescenta que a precipitação, hidrodinâmica e o tempo de residência influencia as trocas de materiais entre o manguezal e o canal de maré, e este com o estuário médio até que finalmente chegue aos oceanos. O mesmo autor diz que o tamanho de ondas influenciadas pela sazonalidade determina a intensidade da movimentação dos sedimentos de fundo e da água intersticial, facilitando as trocas iônicas dos compostos químicos (nutrientes dissolvidos) que estavam aprisionados nos sedimentos e que se tornam disponíveis na água para os produtores primários. Este fato somado com o tempo de residência desses nutrientes aprisionados, que no contato com a hidrodinâmica tornam-se livres e permite o desenvolvimento biológico do manguezal, dos estuários e dos oceanos.

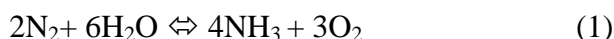
4.6.1 Nitrogênio (N)

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo dos organismos produtores, pois participa na formação da proteína, componente básico da biomassa. Por isso pode atuar como fator limitante na produção primária (Esteves 1998). Ainda de acordo com Esteves (1998) o nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) nos estuários é representado por três principais espécies: amônio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), sendo este último é a forma mais estável e mais abundante no meio aquático.

De acordo com Melo (1998) o nitrogênio orgânico dissolvido é dominante em ambientes tropicais. Este autor relata ainda, que a origem dessas formas orgânicas em

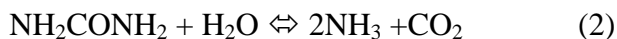
estuários é resultante do fluxo terrestre, do aporte antropogênico, da produção biológica (nitrogênio particulado) ou provenientes da decomposição da MO.

O ciclo biogeoquímico do nitrogênio por convenção inicia-se com a fixação do N₂ atmosférico por bactérias, exemplo: *Oscillatoria sp*, outro grupo de bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico são as Azoto bactéria. Seu metabolismo utiliza do nitrogênio atmosférico, fixando-o em sua composição e quando morrem, distribui ao ambiente o nitrogênio que se torna disponível a outros organismos produtores da cadeia.

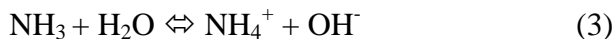


(fixação do Nitrogênio atmosférico realizado por bactérias, exemplo: *Oscillatoria sp*)

O NH₃ é liberado após a morte desses organismos. Subsequentemente ocorre a hidrólise do NH₃ produzindo NH₄⁺. Esta reação é conhecida por mineralização do N ou amonificação, com a participação de outras bactérias dando a reação:



(participação de bactérias)

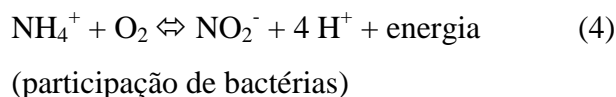


(participação de bactérias)

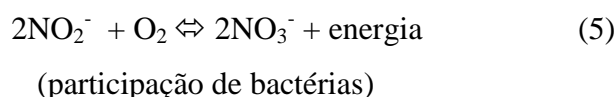
O NH₄⁺ pode ter as seguintes transformações: Em condições de pH (> 8), observado em pântanos e mangues com ocorrência de “boom” de algas, o NH₄⁺ pode ser convertido em NH₃, e liberado para a atmosfera através de sua volatilização. Este nitrogênio, que se “perde” para a atmosfera, frequentemente retorna ao sistema através da chuva, sendo um veículo eficiente no transporte desse nutriente para outros ambientes. Outra possibilidade é que o íon amônio pode ser aprisionado nos sedimentos carregados negativamente, isso devido à carga do NH₄⁺ ser positiva. Através de trocas iônicas, o íon removido do meio aquático. Porém o NH₄⁺ poderá retornar ao meio através da lixiviação, contato da hidrodinâmica com os sedimentos e escoamento superficial da água intersticial (Libes 1992).

De acordo com Paling *et al.* (1994); Rivera *et al.* (1996) os sedimentos dos manguezais e dos canais de maré são tidos como locais de fixação bacteriana do nitrogênio. Entretanto, os processos de nitrificação e desnitrificação nos sedimentos podem conduzir a perdas consideráveis de nitrogênio.

Esteves (1998) e Libes (1992) relatam que caso o NH_3 não seja liberado para atmosfera ou após a hidrólise do NH_3 para o NH_4^+ não seja aprisionado nos sedimentos poderá ocorrer o processo de nitrificação. Este processo utiliza o O_2 atmosférico resultado pela absorção das raízes da vegetação de manguezal ou o aproveitamento do OD contido nas águas superficiais que são produzidas pelo processo fotossintético realizado pelas algas. A nitrificação é realizada através de um processo metabólico feita pelas bactérias nitrificadoras dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacteria* que formam como produto final nitrito e nitrato, sendo este último à forma mais oxidável, e mais estável.



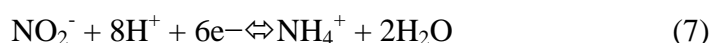
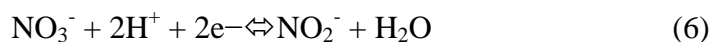
Na oxidação do nitrito a nitrato a bactéria *Nitrobacteria* é o principal gênero de bactérias envolvidas neste processo. Essas bactérias possuem uma tolerância menor a baixas temperaturas e ao pH elevado (Esteves 1998, Libes 1992).



O nitrato juntamente com o íon amônio assume grande importância nos ecossistemas aquáticos, uma vez que representam as principais fontes de nitrogênio para os produtores primários. De acordo com o McCarthy & Goldman (1979), o fitoplâncton pode assimilar nitrito, em caso de escassez do íon amônio e nitrato; neste caso o nitrito é reduzido, no interior da célula, a amônio, por meio da enzima nitrito-redutase. Este processo realizado no interior dos organismos gera gasto de energia por parte da célula. A assimilação do NO_3^- também é muito comum entre os organismos fotossintetizantes, é

também ocorre com gasto de energia dos organismos, o processo realiza a redução do NO_3^- para a forma de NH_3^+ (Libes 1992).

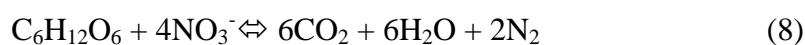
De acordo com Libes (1992) se as concentrações de amônio na água são baixas, o fitoplâncton vai assimilar o nitrato e o nitrito disponíveis na superfície da água. Uma vez dentro da célula, reações redoxes reduzem para o estado de oxidação-III, através da oxirredução do nitrato e posteriormente do nitrito.



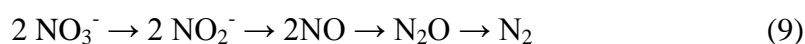
(reações que ocorrem no interior dos organismos fotossintéticos após assimilação do nitrato e nitrito)

O íon amônio dentre os compostos nitrogenados é o mais importante para os organismos produtores, especialmente porque sua absorção é energeticamente viável. Para este íon, não há necessidade de redução no interior da célula, como ocorre com o nitrato, que é reduzido pela nitrato-redutase até amônio (Esteves 1998, Libes 1992).

O fitoplâncton é um organismo consumidor de formas nitrogenadas, fazendo com que este é um sumidouro, transportador e dispersor destes compostos ao longo do estuário e por fim para os oceanos. Segundo Esteves (1998) e Libes (1992) caso o nitrato disponível não seja utilizado, e permanecer no meio, em casos extremos onde o meio aquático esteja em situação anaeróbica e sob ação bacteriana o nitrato sofrerá redução e será perdido para a atmosfera, este processo chama-se de desnitrificação.



(participação de bactérias)



(participação de bactérias)

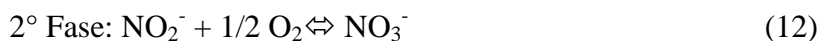
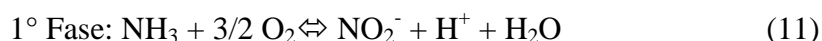
Após o nitrato das águas continentais e oceânicas a forma predominante do nitrogênio amoniacal é a do íon NH_4^+ ($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$). Como a forma NH_3 é a mais tóxica, as concentrações de NH_4^+ podem se elevar sem que sua toxicidade seja muito crítica (Esteves 1998, Libes 1992).

Oxidação →



Redução ←

A oxidação da amônia (ou outros compostos nitrogenados reduzidos) é catalisada por bactérias, sendo que o íon nitrito (NO_2^-) aparece em ambas como intermediário, deduzindo que o nitrito é a forma mais instável dos compostos nitrogenados.



Libes (1992) relata outra forma de disponibilização do nitrogênio (N) nos estuários que pode iniciar-se através de processos que ocorrem na troposfera (< 17 km mais comum na linha do Equador), com a formação de óxido nítrico (NO) produto da foto-dissociação do nitrogênio atmosférico (N_2), este que após a foto-dissociação libera o átomo de nitrogênio e associa-se com o oxigênio átomo que também é originário de uma foto-dissociação, no caso do O_3 (ozônio). Este novo composto NO (óxido de nitrogênio) que é produto da foto-dissociação N_2 e do O_3 é subsequentemente ainda na troposfera e é convertido para NO_3^- por reações fotoquímicas e em seguida é removido da atmosfera através da precipitação da chuva ou da neve. O nitrato produzido pela luz do sol na atmosfera é assimilado pelos produtores e assim entra no ciclo do nitrogênio da biosfera.



(foto-dissociação)



(foto-dissociação)



(formação do óxido de nitrogênio)

Uma pequena fração de N dos produtores entra no ciclo endogênico quando o MO é depositado em bacias sedimentares e finalmente soterrado e incorporado às rochas

sedimentares e pela diagênese, que posteriormente torna-se disponível através da alta dinâmica dos estuários. Além disso, o N pode estar presente em rochas sedimentares na forma de NH_4^+ , onde substitui o K^+ nas argilas e micas liberando potássio ao sistema. A concentração de N nas rochas sedimentares está em torno de 200 a 4.000 ppm, resultante principalmente da presença de MO que são constantemente depositadas pelo sistema fluvial de drenagem (Melo 2002).

Melo (2002) acrescenta que o fluxo e retorno do N da biosfera para a atmosfera ocorrem durante a decomposição da MO feita por diversos gêneros de bactérias, que liberam NH_3 (muito volátil). Fazendo que este composto trafegue pela atmosfera. Na atmosfera o NH_3 é rapidamente hidrolizado a NH_4^+ sendo posteriormente removido da atmosfera para o continente ou oceano, através de precipitações de chuvas ou neve. O NH_4^+ uma vez no solo ou sedimentos pode se convertido para NO_2^- e NO_3^- pelas bactérias nitrificadoras ou ainda ser assimilado pelos produtores da cadeia trófica.

4.6.2 Fósforo (P)

O fosforo é um dos elementos mais importantes nos ecossistemas aquáticos, esta importância deve-se à participação nos processos metabólicos dos seres vivos, tais como: armazenamento de energia (forma uma fração essencial da molécula de ATP) e estruturação da membrana celular através dos fosfolipídios (Esteves 1998). Segundo Esteves (1998) e Barcellos *et al.* (2003) os maiores reservatórios de fósforo são as rochas fosfáticas sedimentares. Outra parte representativa fica agregada a MO nos sedimentos.

Rocha (2004) relata que uma fonte convencional de fosfato em estuários seria proveniente de fonte antropogênica na forma de fertilizantes, detergentes, anticorrosivos e efluentes domésticos. Rocha (2004) ainda acrescenta que em estuários é comum fontes de P provenientes da decomposição de ossos de animais mortos e excrementos de aves marinhas.

Paytan & McLaughlin (2007) indicam outras fontes de fosfato para os estuários, (porém menos convencional em regiões mais específicas) das deposições atmosféricas como: precipitações de aerossóis, associados com partículas eólicas, e cinzas de vulcões.

As principais formas ocorrentes em estuários orgânicas são os fosfolipídios adsorvidos ou agregados orgânicos aos organismos vivos. As principais formas inorgânicas seriam os ortofosfato, FeHPO_4^+ , $\text{CaH}_2\text{PO}_4^+$, adsorvidos e agregados inorgânicos aos minerais (Esteves 1998).

De acordo com Chester (1991) todas as formas de fósforo são importantes para o ambiente. No entanto, os ortofosfatos assumem maior relevância por ser a principal forma de fosfato assimilada por organismos produtores.

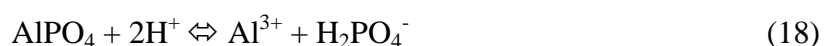
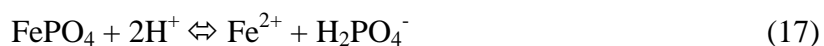
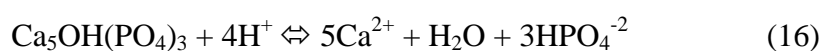
A respeito da mobilidade e início do ciclo do fósforo, Esteves (1998) descreve que o nutriente é liberado ao meio através de intemperismo das rochas, erosão ou remobilização dos solos ou sedimentos. A sua distribuição nas águas dos estuários é amplamente controlada pelos agentes biológicos, físicos e químicos específicos dos ambientes. Outra forma relatada pelo autor é que a disponibilidade do fósforo pode iniciar-se com a adsorção de ortofosfatos sobre a superfície de partículas de argila, turfeiras, ferro férrico, hidróxidos de alumínio, óxidos e com o fósforo ligado a MO presentes da biomassa viva de bactérias, algas emacrófitas vasculares, que quando morrem ocorre à decomposição liberando o fosfato aos ecossistemas aquáticos.

De acordo com Libes (1992) depois que o P é introduzido no ecossistema aquático a presença ou não do OD definirá o destino do nutriente, onde o fosfato na presença de O₂ precipita-se nos sedimentos sendo removido do sistema e na ausência de O₂ (condições anaeróbica / ambiente redutor) o fosfato seria liberado novamente na coluna d'água.

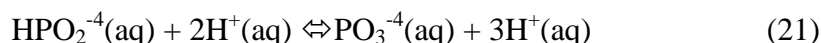
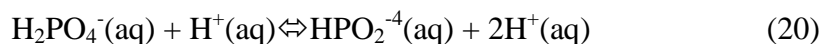
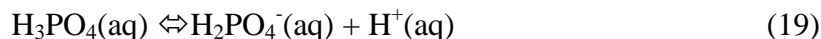
Além do O₂ dissolvido, outros parâmetros físicos e químicos interferem na precipitação (imobilização) ou liberação dos íons de fosfato nos estuários, destacam-se: os íons de ferro, alumínio, sulfetos, compostos orgânicos e carbonatos, pH e condições de oxi-redução (Libes 1992).

A liberação do fosfato na coluna d'água começa na parte inferior da coluna d'água, especialmente quando esta se encontra estratificada termicamente (abaixo da termoclina) e o íon ferro encontra-se na forma reduzida (Fe²⁺), em ambiente anaeróbico (Esteves 1998). Essas condições favoreceriam o P permanecer em seu estado solúvel e disponível aos organismos produtores, o contrário removeria o P com o processo de precipitação.

A reação abaixo, ocorre com mais frequência, em casos de pH baixo (ácido) e próximo de ambientes redutores (anaeróbicos), aumentando assim a liberação do fosfato para o estuário. Condições inversas apresentam característica do aprisionamento do fosfato em sedimento.



Ainda sobre o ciclo do fósforo, em condições de pH elevado, ocorre a precipitação do fósforo principalmente na presença de Ca^{2+} , formando cristais de carbonato, removendo assim o fósforo do sistema. Abaixo a sequência da biodisponibilidade do fósforo dissolvido:



As argilas podem remover o P, principalmente quando na presença de Al e Fe. A adsorção de fosfato nas argilas assume grande importância em águas influenciadas pelo clima tropical, pois há um alto aporte de argilas em sua bacia de drenagem, cujo MPS está em grande quantidade (Esteves 1998) e o transporte do fósforo através do MPS é uma das formas mais efetivas de distribuição do nutriente nos estuários até os oceanos.

4.6.3 Silício (Si)

Segundo Esteves (1998), o silicato dissolvido é o nutriente limitante na produção primária, pois é fundamental para a formação das carapaças de alguns grupos de algas, principalmente o grupo das diatomáceas. Segundo Muller (1977), a interrupção da floração de diatomáceas é causada pela deficiência de sílica.

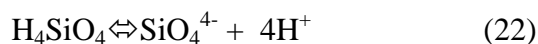
O ciclo do silicato inicia-se quando o silício é mobilizado pelo intemperismo dos silicatos, e transportado nas águas fluviais e na forma de ácido sílico não dissociado H_4SiO_4 (Aminot *et al.* 1983). Uma vez introduzido no meio aquático, organismos produtores podem assimilar a sílica reativa, após a morte dessas algas que pode ser novamente assimilado por outros organismos produtores ou ser transportado pelas águas.

De acordo com Chester (1991) nos estuários 29 % da sílica dissolvida na água dos rios é removida através de mecanismos biológicos. Porém, no próprio estuário, toda a sílica é regenerada e posteriormente lançada novamente na coluna d'água. Logo, o fluxo de sílica fora do estuário é virtualmente idêntico ao fluxo fluvial, ou seja, pouca sílica é depositada como sedimento.

Em estuários amazônicos devido a constantes processos de lixiviação, os silicatos presentes nas rochas e/ou solos formam o composto H_4SiO_4 . Este compõe

significativamente o MPS presente na água e é considerado a maior fonte de silicato dissolvido para estes estuários.

De acordo com Esteves (1998) a sílica pode estar sob três formas principais: solúvel, coloidal, particulada ou como sílica biogênica (algas diatomáceas), minerais, detritos orgânicos.



A liberação da sílica da água intersticial (água do sedimento) para a coluna d'água depende do gradiente de concentração, pH e atividade de organismos (Esteves 1998). O gradiente de concentração em situação de homotermia facilitaria a homogeneização da sílica dissolvida na coluna de água.

4.6.4 Enxofre (S)

Apesar de não ser considerado limitante para a produção primária, o enxofre é importante, pois participa no processo metabólico de alguns organismos produtores, a exemplo das bactérias (Esteves 1998). De acordo com o mesmo autor, o S em ecossistemas aquáticos pode ser encontrado nas formas de: íon sulfato (SO_4^{2-}), íon sulfito (SO_3^-), íon sulfeto (SS) gás sulfídrico (H_2S), dióxido de enxofre (SO_2), ácido sulfúrico (H_2SO_4), enxofre molecular (S_0), e S associado a metais, sendo que o íon sulfato e o gás sulfídrico são os mais frequentes em ambientes de estuário.

Nybakken (1997) também relata que o íon sulfato é um dos mais abundantes nas águas do mar e dos estuários, estando presente nas seguintes formas e proporções médias: SO_4^{2-} : 39%; Na_2SO_4 : 37%; MgSO_4 : 19% e CaSO_4 : 4% (a 25°C e pH = 8).

As principais fontes de sulfato em estuários são provenientes do manguezal, de atividade antropogênica como indústrias, agricultura e esgoto, chuvas (lavagem atmosférica) e provenientes da oxidação da MO. Porém segundo McNeely *et al.* (1979) a maior contribuição de sulfato em estuários é proveniente de depósitos de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e anidrita (CaSO_4) cuja origem é marinha.

O ciclo do enxofre proposto por Esteves (1998) considera:

A assimilação do íon sulfato pelos produtores é transformado em enxofre orgânico. Posteriormente com a morte do organismo este enxofre orgânico sofre deposição, e pode ser novamente assimilado por organismos produtores ou ser perdido para a atmosfera por

evaporação da água, sendo transportado pelas nuvens e conseqüentemente retorna ao ambiente aquático ou continental.

No caso de deposição este enxofre orgânico em condições anaeróbicas por ação de bactérias poderá sofrer redução até formar o composto H_2S . De acordo com Schlegel (1976) as bactérias redutoras de sulfato são também chamadas dessulfurantes (respiração de sulfato). Este fenômeno é muito comum nos sedimentos dos manguezais.



Se este enxofre orgânico em associação com o metal sulfito, entrar em contato com O_2 fará com que o H_2S retorne ao sistema, transformando-se em sulfato novamente, podendo ser assimilado, depositado ou perdido para atmosfera por evaporação da água, repetindo o ciclo.

5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

5.1 CONDIÇÕES GEOLOGICAS

A ilha de Colares é formada por sedimentos do Grupo Barreiras (Cenozoico Médio), Pós-Barreiras (Pleistoceno) e Recente.

5.1.1 Grupo Barreiras

Os sedimentos do Grupo Barreiras (Cenozóico Médio) formam os tabuleiros da ilha. Sua litologia é composta por arenito, com concentrações ferruginosas e intercalações caulínica. O principal mineral é argila, laterita e água subterrânea (Rodrigues *et al.* 1994).

5.1.2 Pós-Barreiras (Pleistoceno)

O Pós-Barreiras (Pleistoceno) é composto por sedimentos areno-argilosos, inconsolidados, por grãos de quartzo, silte e argila, com leitos pouco espessos de seixos e blocos rolados ou pouco movimentados de arenitos ferruginosos (Sá 1969). Estes sedimentos são facilmente desagregados.

5.1.3 Sedimentos do Recente

Os sedimentos do Recente são formados por aluviões atuais e incluem areias finas a média de coloração marrom, siltes e argilas e coloração escuras, com restos de vegetais. Fazem parte desta unidade, os solos ricos em húmus, de coloração escura amarronzada (Sá 1969).

5.2 CONDIÇÕES GEOMORFOLOGICAS

A geomorfologia da ilha de Colares é formada por: planície aluvial, cordão arenoso, praias estuarinas, planície lamosa, banco lamoso de intermaré, leito estuarino arenoso.

5.2.1 Planície Aluvial

A planície aluvial corresponde à estreita área de acumulação situada ao longo dos rios que seccionam os tabuleiros e é formada por areias, lamas e cascalhos, em terrenos planos, de declive suave e altimetria variável. Continuamente sofre inundação através dos canais sujeitos às correntes de maré (Barbosa 2007).

5.2.2 Cordão Arenoso

O cordão arenoso ocorre na parte interna das planícies de maré lamosas. Corresponde a um conjunto de feições arenosas e de disposição alongada (“flechas”), sub-paralelas, com orientação SW-NE, semelhante à da linha de costa atual (Barbosa 2007).

5.2.3 Praias Estuarinas

As praias estuarinas são abrigadas das ondas, marés e correntes associadas e correspondem a setores de menor energia (Nordstrom 1992). São representados por depósitos inconsolidados de areias e/ou cascalhos, em trechos estuarinos onde as ondas e as correntes de maré são suficientes para transportar e retrabalhar os sedimentos de maior granulometria.

5.2.4 Planície de Maré Lamosa

A planície de maré lamosa é constituída por depósitos lamosos recobertos por mangue (Lima, Tourinho, Costa 2000). É comum haver um ou mais canais de drenagem continental, com menor energia hidrodinâmica, caracterizando os sedimentos lamosos, de cor negra que compõem a planície de maré, indicando altas concentrações de MOP (Barbosa 2007).

5.2.5 Banco Lamoso de Intermaré

Os bancos lamosos (fluidos) de intermaré ocorrem nos canais de maré e ficam expostos a baixamar, e em muitos casos sucedem ao leito estuarino até alcançar a borda das planícies de maré lamosas, ou das planícies aluviais (Barbosa 2007). Em canais mais

estreitos, estes bancos podem diminuir a energia das ondas e correntes, e a capacidade de transporte, originando a lama de intermaré.

5.2.6 Leito Estuarino Arenoso

Este tipo de relevo sempre ocorre abaixo do nível da baixamar, sendo difícil a sua visualização e o seu fundo é constituído por areia (Barbosa 2007), muito comum no meio dos canais dos estuários.

5.3 SOLOS DA ILHA DE COLARES

Os solos (Barbosa 2007, Ramos 2007, Cardoso 2009) da ilha de Colares são compostos: latossolo amarelo - de cor amarela, com textura argilosa ou muito argilosa ocorre frequentemente em relevo plano ou suavemente ondulado. Este solo é predominante; (2) plintossolo - ocorre em áreas com escoamento lento de água de áreas deprimidas de relevo plano ou suavemente ondulado e tem grande concentração de plintita (concreções ferruginosas) nos 40 cm iniciais desde a superfície; (3) háplico - tem características distróficas plínticos, com textura muito argilosa, ocorre em relevo suavemente ondulado; (4) glei - pouco húmido ocorre em várzeas, de cor clara ou escura. Abaixo apresenta uma camada acinzentada com ou sem mosqueado ou variegado; (5) solos aluviais - ocorrem próximos aos rios ou drenagens de relevo plano, sendo evidentes as camadas de solo depositadas, que se diferenciam pela cor e textura, (6) solos com areias quartzosas - ocorrem em relevo plano ou suavemente ondulado, com textura arenosa amarelada, às vezes são ligeiramente escuros.

5.4 COBERTURA VEGETAL

A vegetação caracteriza-se pela presença de mata secundária, capoeiras e algumas reminiscências da vegetação do cerrado. Na ilha de Colares e regiões próximas ocorre domínio de floresta secundária, como consequência do desmatamento (Lira *et al.* 1989). Já a cobertura vegetal em torno do rio Guajará-Miri e no furo da Laura é composta por bosques de mangue, misturados a vegetação típica de terra firme. As espécies que se destacam nos bosque de mangue são as *Rhizophora mangle* (mangue vermelho) e *Avicennia germinans* (mangue preto) (Ramos 2007).

5.5 CONDIÇÕES CLIMATICAS

5.5.1 Precipitação

O regime pluviométrico da região da ilha de Colares e regiões próximas apresenta uma nítida separação entre os períodos chuvoso e menos chuvoso. O período chuvoso corresponde aos seis primeiros meses do ano, os quais apresenta elevada precipitação, acima de 2.500 mm. Já o período menos chuvoso corresponde aos seis últimos meses do ano. Este fenômeno se deve ao deslocamento da Zona de Convergência Intertropical na região (Secirm 1989, Lira *et al.* 1989). Já Kousky (1980); Souza *et al.* (2004) e Reboita *et al.* (2010) afirmam que no nordeste paraense, os máximos pluviométricos ocorrem no primeiro semestre do ano, com precipitação acima de 2.000 mm/ano.

Segundo Cohen *et al.* (1989) as linhas de instabilidade contribuem com 45 % da precipitação durante o período chuvoso no leste do Pará. De acordo com Correia *et al.* (2007) cerca de 20 % a 35 % da precipitação, é proveniente do processo de evapotranspiração realizada pela vegetação local, e o restante cerca de 65 % a 80 % é transportada para a região na atmosfera proveniente do Oceano Atlântico, esse fenômeno ocorre principalmente no período chuvoso na região amazônica que corresponde ao verão do Hemisfério Sul.

5.5.2 Temperatura

A área de estudo é influenciada pelo clima equatorial amazônico super úmido, do tipo Am, com temperaturas relativamente elevadas, sua mínima de 26°C e máxima de 39°C, com média de 32,5°C, megatérmico (classificação de Köppen).

5.5.3 Vento

De acordo com Cohen *et al.* (1989) a região é dominada pela brisa marinha e predomínio de correntes de ventos alísios (ventos sentido leste para oeste), formando um cinturão de nuvens que circunda a região equatorial.

5.6 HIDROLOGIA

A hidrologia da região da ilha de Colares é formada pelas águas do rio Baiacu, e de vários igarapés, destacando o Tauapará, Itajurá, Mariteua, Fazenda, Maracajá e Itaqueçaua que desaguam na foz Norte do furo de Colares (rio Guajará-mirim) (Lira *et al.* 1989, Governo do Pará 2005). Também fazem parte desta rede hidrográfica o rio Tupinambá e os igarapés Tauandeuá, Chácara, Arari, Boca Larga que desaguam diretamente na baía do Marajó. O maior contribuinte que desagua na foz Sul do furo de Colares (furo da Laura) é o rio Bituba (Barbosa 2007).

5.7 CONDIÇÕES OCEANOGRÁFICAS

5.7.1 Profundidade e Correntes

A profundidade é de 10 m na baía de Marajó e nos canais próximo. É comum na região que durante o estófo de maré, a corrente apresentar velocidade de corrente zero antes da inversão. A direção da corrente é predominante no sentido SW/WSW durante as enchentes, e de ENE/NE durante as vazantes com profundidade média de 3 m (Barbosa 2007).

5.7.2 Maré

Dyer (1997) classifica os estuários dos rios Amazonas e Pará com predomínio do regime de macromaré semidiurna. Estes estuários tem amplitude de maré média de 3,35 m nas marés de sizígias (Pinheiro 1987). Monteiro (2009) afirma que nos estuários amazônicos no período chuvoso ocorrem as marés dinâmicas e no menos chuvoso as marés salinas.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 CAMPO

As coletas foram realizadas durante um ciclo de maré (13 horas) de maneira simultânea na foz Norte (rio Guajará-mirim) e foz Sul (Laura) do furo de Colares, com intervalo de 1 hora. Os locais de amostragem foram posicionados mediante o uso de um receptor GPS. As campanhas foram realizadas no período chuvoso (10/04/2013) e no período menos chuvoso (05/10/2013). Todas as coletas de água foram realizadas na superfície, num total de 42 amostras por período sazonal (14 amostras/ estação). Foi feita também uma amostragem de sedimento superficial, nos primeiros 10 cm, durante a baixa-mar.

6.1.1 Profundidade de Secchi

A profundidade de Secchi foi obtida mediante o uso do disco de Secchi. A metodologia consiste na visualização do disco de cor preta e branco até a profundidade de seu desaparecimento. Este dado é inversamente proporcional à quantidade de compostos orgânicos e inorgânicos no caminho ótico (Preisendorfer 1986).

6.1.2 Amostragem da Água

A amostragem da água foi realizada mediante o uso de uma garrafa oceanográfica do tipo *Van Dorn* com capacidade de 2,5 litros que foram adequadamente transferidos para um balde para as medições *in situ* dos parâmetros físicos e químicos (temperatura, salinidade, pH, CE, STD). Foi reservada também uma alíquota de 200 ml de água em frascos plásticos não transparentes e conservados em isopor com gelo para posterior análise dos nutrientes dissolvidos em laboratório.

6.1.3 Oxigênio Dissolvido (OD)

O OD foi determinado *in situ* através do método Winkler, simplificado, com adaptação do método de Strickland & Parsons (1972) descrito por Baumgarten *et al.* (1996), com modificação da ázida sódica.

Mediante ao uso de seringa, foi extraída uma amostra de água de superfície (20 ml) que foi transferida sem borbulhar para um frasco de vidro não transparente. Posteriormente foram acrescentados 0,2 ml do reagente R1 (sulfato de manganês) e 0,2 ml do reagente R2 (iodeto alcalino de potássio). O efeito dessa reação formou um precipitado de magnésio, onde apareceu uma substância no meio aquoso de aspecto leitoso. Após esse efeito, foram acrescentados 0,2 ml do reagente R3 (ácido fosfórico). O efeito dessa reação produziu a dissolução do precipitado de magnésio e a amostra de água adquiriu tonalidade amarelo, precisa-se fazer a homogeneização da amostra para acelerar a reação. O próximo passo foi a adição de 0,5 ml de amido (reagente R4), após mistura (homogeneização) a solução adquiriu tonalidade azul. Finalmente a amostra foi titulada com tiosulfato de sódio até que a amostra ficou transparente. A quantidade em ml usado na titulação deu a concentração em mg de OD da amostra de água.

De acordo com Aminot e Chaussepied (1983) foi utilizada a azida de sódio (NaN_3) para análise de OD quando as amostras possuam mais de $3,5 \mu\text{M}$ de nitrito, quantidades significativas de MPS ou substâncias orgânicas oxidáveis em meio básico.

6.1.4 Parâmetros Físicos e Químicos

Os parâmetros físicos e químicos de temperatura, salinidade, pH, condutividade elétrica (CE) e sólidos totais dissolvidos (STD) foram obtidos *in situ* através de uso de multianalisador da marca Hanna, modelo 9828.

6.1.5 Água Intersticial

Para obtenção da água intersticial foi removida uma quantia de 100 g de sedimento superficial, lâmina de sedimento dos primeiros 10 cm, que foram reservadas em sacos plásticos devidamente identificados.

6.2 LABORATÓRIO

6.2.1 Matéria Orgânica (MO)

Para a quantificação da MO, as amostras de sedimentos foram pré-tratadas em estufa e expostas a uma temperatura de 60°C por 5 dias, após esse processo estas amostras foram peneiradas em malha com abertura de 1mm. Em seguida foram levadas para uma

mufla para calcinação (Kralik 1999). O método consiste na pesagem de 1 g de amostra que passou por uma temperatura de 100°C por 16 horas na estufa, o resultado gerou o peso seco (peso 1). Depois desse processo a amostra foi levada a mufla com temperatura de 360°C por 2 hrs (peso 2). A diferença entre os pesos 1 e 2 gera a quantidade de MO em porcentagem, contida no sedimento.

6.2.2 Determinação das Variáveis Hidroquímicas

6.2.2.1 Material Particulado em Suspensão (MPS)

O MPS foi determinado através do método gravimétrica de volatilização de Strickland & Parsons (1972) descrito por Baumgarten *et al.* (1996). Este método consiste na filtração de 200 ml de amostra de água, obtida através do auxílio de uma bomba a vácuo acoplada ao sistema de filtração Millipore com filtros de fibra (GF/F Whatman) de 0,45 µm de porosidade e 47 mm de diâmetro. Esses filtros foram previamente levados à estufa por duas horas a uma temperatura de 30°C e logo em seguida levados ao desumificador por 20 minutos. Após esses processos, estes filtros são pesados, e esse peso inicial é denominado de peso 1. O filtro já processado passou pelo sistema de filtração da água. Após filtração o filtro com o MPS passou novamente pelo procedimento laboratorial inicial (estufa por duas horas a 30 °C e desumificador por 20 minutos). O peso seco do filtro mais o peso do MPS retido no filtro corresponde ao peso 2. A diferença entre os pesos 1 e 2 fornece o peso do MPS para o volume filtrado.

6.2.2.2 Análise dos Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos

Para análise dos nutrientes dissolvidos (nitrato, nitrito, N-amoniaco, fosfato, silicato e sulfato) as amostras de água passaram por um processo de filtração a vácuo, mediante uso de filtros de fibra (GF/F Whatman) de 0,45 µm de porosidade e com 47 mm de diâmetro, o intuito é eliminar os interferentes gerados pelo MPS na leitura das análises. Esta análise é feita logo após a filtração. As análises são realizadas através da metodologia analítica de espectrofotometria, na faixa de luz visível com a utilização do espectrofotômetro da marca Hach, modelo DR-5000. Algumas amostras tiveram que ser diluídas para aplicação do método.

6.2.2.2.1 Determinação de Nitrato Dissolvido (Reação de Griess)

Para determinação do nitrato dissolvido foi aplicado o método de 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). O método baseia-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, deduzindo a concentração de nitrato, subtraindo-se o nitrito original da amostra da concentração de nitrito total dosado (somatório do NO_2^- com o NO_3^- reduzido). O limite de detecção da técnica analítica para análise do nitrato é de 0,2 mg/L.

6.2.2.2.2 Determinação de Nitrito Dissolvido (Reação de Griess)

Na determinação de nitrito dissolvido foi obtido através da reação de Griess que foi aplicado na água do mar por Bendschneider & Robinson (1952) e descrito por Aminot & Chaussepied (1983) e Baumgarten *et al.* (1996). Esse método baseia-se nos íons nitrito que formam um íon diazoico com a sulfanilamida (R1) em meio ácido ($\text{pH} < 2$). Depois, o íon diazoico reage com o N-naftiletilinodiamina (R2) para formar um composto colorido (rosa-avermelhado), cuja absorção máxima é de 543 nm. O limite de detecção da técnica analítica para a análise do nitrito é de 0,002 mg/L.

6.2.2.2.3 Determinação do N-amoniaco Dissolvido

Para determinação do N-amoniaco foi aplicado o método de Koroleff (1969) descrito em Baumgarten *et al.* (1996). O método tem como princípio medir a totalidade do Nitrogênio amoniaco com a soma da determinação do amônio e amônia dissolvidos na água. A determinação é obtida a partir da reação do Nitrogênio amoniaco da amostra com o hipoclorito de sódio, que cria uma situação alcalina (pH entre 10,8 e 11,5), formando a monocloramina. Em seguida a monocloramina reage com o fenol, e devido à exposição excessiva ao hipoclorito e nitroprussiato de sódio (catalisador), atribui coloração azul de indofenol na amostra, cuja absorção é de 630 nm.

No caso de preservação dos íons alcalinos terrosos (Ca, Si, Ba, Mg) da água, em meio alcalino. Deve-se adicionar citratotrisódico (complexante), evitando a interferência quanto à turbidez, que poderia ser causada pela precipitação destes íons. O limite de detecção da técnica analítica para análise do N-amoniaco é de 0,05 mg/L.

6.2.2.2.4 Determinação do (Orto) Fosfato Dissolvido

Para determinação do fosfato foi adotada a metodologia do Murphy & Riley (1962), adaptada por Aminot & Chaussepied (1983), descrita em Baumgarten *et al.* (1996). A aplicação deste método consiste na mensuração do fósforo sob as suas formas de íons ortofosfatos (H_2PO_4^- , PO_4^- e HPO_4^-), conhecido como fósforo reativo solúvel ou como fosfato. O fosfato dissolvido contido na água é exposto ao molibdato de amônio em meio ácido, formando o complexo fosfomolibdato, que será reduzido pelo ácido ascórbico, resultando em um composto azul, cuja absorção máxima é de 885 nm. Esta redução é catalisada pelo tartarato de antimônio e potássio que é adicionado na amostra. O limite de detecção da técnica analítica para análise do fosfato é de 0,02 mg/L.

6.2.2.2.5 Determinação do Silício Reativo Dissolvido

O silício reativo dissolvido foi determinado usando a metodologia de Mullin & Riley (1955), adaptado por Aminot & Chaussepied (1983) e descrito em Baumgarten *et al.* (1996). O método consiste na reação do silício dissolvido da amostra com molibdato de amônio em meio ácido (R1), formando um complexo de silico molibídico, dando uma tonalidade amarela a amostra, quando há adição de uma mistura redutora de metol (sulfato de p-metilamino fenol) e de sulfito de sódio, a amostra irá para o seu estado reduzido mudando sua cor para azul de silico molibdato, cuja absorção máxima é de 810 nm.

Segundo Aminot e Chaussepied (1983) a expressão "silício reativo" se deve as formas "mono" e "dímeras" do H_4SiO_4 que reagem com o molibdato nas condições da dosagem, o que não acontece com as formas polimerizadas.

Na última fase da reação adiciona-se o ácido oxálico ($(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) na mistura redutora para neutralizar os interferentes do fosfato da amostra na reação de formação do composto colorido azul escuro. O limite de detecção da técnica analítica para análise do silicato é de 0,005 mg/L.

6.2.2.2.6 Determinação do Sulfato Dissolvido

Para determinação do sulfato dissolvido foi obtido através do método desenvolvido por Tabatabai (1974) que baseia-se na medida da turbidez, formada pela reação do cloreto de bário com o sulfato presente na amostra, formando sulfato de bário, que fica em suspensão turvando a amostra. O limite de detecção da técnica analítica para análise do sulfato é de 10,3 mg/L.

6.2.2.3 Água Intersticial

Uma alíquota de 10 g do sedimento foi dissolvida em 100 mL de água deionizada (Melo 2002) por 10 minutos. Depois da homogeneização da amostra, foram medidos os parâmetros físicos e químicos (salinidade, pH, CE e STD), através de multi-analisador. Em seguida a amostra foi levada para filtração utilizando-se filtros de membrana de acetato de celulose de 0,45 µm de porosidade e de 47 mm de diâmetro para posterior análise em espectrofotômetro. Os nutrientes dissolvidos contemplados foram: nitrato, nitrito, N-amoniaco, fosfato, silicato e sulfato.

6.3 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Os dados foram organizados em planilhas no programa Excel e posteriormente foram confeccionados gráficos para visualizar a distribuição espacial e temporal dos parâmetros abióticos medidos no furo da ilha de Colares.

Os testes estatísticos também foram obtidos através do programa Excel e testados o coeficiente de variação obtidos através da fórmula $CV = \frac{s}{x} \cdot 100$; onde: s = desvio padrão e x = média. A aplicação deste método serve para visualização da variação dos parâmetros abióticos durante o ciclo de maré.

Foi aplicado ainda o teste *t Student*, com propósito de identificar a existência de semelhanças ou diferenças entre as águas da foz Norte e Sul; e semelhanças ou diferenças entre os períodos chuvoso e menos chuvoso. O teste *t Student* foi obtido através do programa Excel onde foram pareados os parâmetros da foz Norte e Sul do mesmo período e nos períodos distintos. Foi adotado para o teste *t* o nível de significância de 0,05 (Tabela 7).

Tabela 7 - Critério de classificação quanto às semelhanças das águas com a aplicação do teste *t*.

Condição do Teste <i>t</i> para o Nível de Significância	Condição das Águas
Maior que 0,05	Semelhantes
Menor que 0,05	Não-Semelhantes

Outro teste estatístico aplicado foi a correlação de Spearman com objetivo de desvendar o que determina o comportamento dos parâmetros físico e químicos e seu grau de relacionamento entre observações emparelhadas. O teste foi obtido também pelo programa Excel onde foram pareados os parâmetros, confeccionando gráficos de dispersão com o intuito de determinar a natureza da correlação: positiva ou negativa entre os parâmetros abióticos durante os períodos chuvoso e menos chuvoso.

Foi também aplicado o método estatístico descritivo Box-plot para salientar a distribuição diferenciada dos parâmetros abióticos obtidos através do programa Grapher 7.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 INDICE PLUVIOMETRICO (IP)

Os resultados para o ano de 2013 demonstraram períodos sazonais bem definidos com pico em março com acumulado mensal de 742,5 mm em Belém e 808,2 mm em Soure. A depressão em outubro com acumulado mensal de 44,3 mm em Belém e 0 mm em Soure. A média do IP para este ano foi de 296,9 mm em Belém e 208,3 mm em Soure, com acumulados de IP anual com 3.562,5 mm em Belém e 2.500,3 mm em Soure (Figura 11).

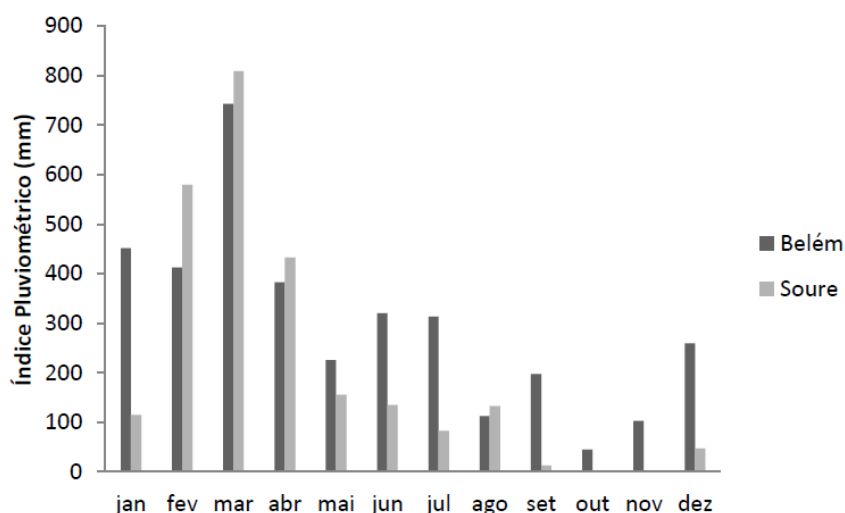


Figura 11 - Variação do índice pluviométrico (mm) acumulado mensal do ano 2013 obtido nas cidades de Belém e Soure. Fonte: Adaptado de Inmet 2013.

7.2 AMPLITUDE DE MARÉ

A amplitude de maré de sizígia comportou-se de maneira semelhante nos períodos chuvoso e menos chuvoso, sendo que no período chuvoso, a amplitude foi de 0,5 m na baixamar e 3,5 m na preamar. Já no período menos chuvoso a amplitude de maré foi de 0,7 m na baixamar e acima de 3 m na preamar (Figura 12).

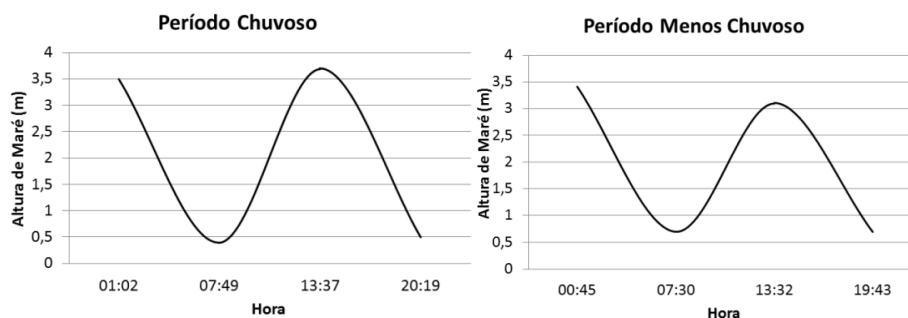


Figura 12 - Amplitude de maré em 10/04/2013 e 05/10/2013. Fonte: Adaptado da Marinha do Brasil 2013.

7.3 VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS ABIÓTICOS DAS ÁGUAS ESTUARINAS DO FURO DA ILHA DE COLARES

A caracterização dos parâmetros físicos e químicos e dos níveis de concentração dos nutrientes dissolvidos conforme a sazonalidade define o padrão comportamental do referido parâmetro e nutriente nas condições climatológicas em que estão expostos. Essa avaliação é de fundamental importância para caracterização, comportamento e qualidade ambiental dos estuários amazônicos.

Os parâmetros físicos e químicos avaliados na água foram: T (°C), pH, sal, CE, TSD, OD, MPS e profundidade de Secchi. Os nutrientes dissolvidos avaliados foram: NO_3^- , NO_2^- , $\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$, PO_4^{3-} , SiO_2 , SO_4^{2-} .

Foram também avaliadas as condições físicas e químicas (salinidade, pH) os nutrientes dissolvidos (NO_3^- , NO_2^- , $\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$, PO_4^{3-} , SiO_2 , SO_4^{2-} , MO) nas águas intersticiais do furo da ilha de Colares, com finalidade caracterizar o grau de influência destas sobre as águas superficiais.

7.3.1 Caracterização dos Parâmetros Físicos e Químicos das Águas do Furo da Ilha de Colares

O comportamento espaço-temporal dos parâmetros físicos e químicos tem como finalidade encontrar um padrão característico de acordo com a sazonalidade da região.

Segundo Eby *et al.* (2005) muitas das características dos estuários são dominadas pela variabilidade espaço-temporal da temperatura, salinidade e do OD. Sendo estes dois últimos parâmetros determinantes para o estabelecimento, desenvolvimento e colonização das espécies fluviais, marinhas e estuarinas. A caracterização das águas intersticiais são de fundamental importância, pois os sedimentos representam habitat natural para diversos organismos (ex: organismos bentônicos).

7.3.1.1 Caracterização dos Parâmetros Físicos e Químicos das Águas Superficiais do Furo da Ilha de Colares

Tabela 8 - Média, máximo, mínimo, coeficiente de variação (CV) e teste *t* dos parâmetros físicos e químicos das águas da foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares durante os períodos chuvoso e menos chuvoso.

	Período Chuvoso					Período Menos Chuvoso				
	Média	Max	Min	CV (%)	Teste <i>t</i>	Média	Max	Min	CV (%)	Teste <i>t</i>
Foz Norte										
T° (°C)	28,14	29	26,6	2,59	0,39	28,9	29,74	27,57	1,98	0,2
Sal	0,003	0,01	0	13,22	0,58	5,54	6,38	5,11	6,63	0,02
pH	6,65	6,82	6,26	2,29	4,7	7,76	8,41	7,4	3,83	0,1
CE (µS/cm)	213,5	318	86	37,6	0,48	10.243	11.290	9.204	6,99	0,04
STD (mg/L)	----	----	----	----	----	5.123	5.636	4.605	7,03	0,03
OD (mg/L)	----	----	----	----	----	5,07	6,1	3,69	15,48	0,02
MPS (mg/L)	488,07	1783	127	11,63	0,006	153,28	189,5	99	25,71	0,007
Secchi (cm)	6,1	7	5	13,42	0,04	21,83	35	13	32,96	0,04
Foz Sul										
T° (°C)	28,03	29,4	27,2	2,24	0,39	29,05	29,86	28,2	1,76	0,2
Sal	0,004	0,01	0	8,12	0,58	2,46	2,68	2,23	3,8	0,02
pH	5,9	6,73	5	6,58	4,7	7,46	8,25	6,86	5,27	0,1
CE (µS/cm)	187,35	424	31	91,47	0,48	4.655	5.086	4.227	3,87	0,04
STD (mg/L)	----	----	----	----	----	2.377	2.544	2.114	4,63	0,03
OD (mg/L)	----	----	----	----	----	0,58	1,42	0,01	104,86	0,02
MPS (mg/L)	159,42	300	23	58,37	0,006	32,71	56,5	21	32,42	0,007
Secchi (cm)	17,8	26	12	75,92	0,04	49,69	63	35	17,14	0,04

*Nível de significância = 0,05

7.3.1.1.1 Temperatura (T°)

A temperatura na foz Norte no período chuvoso atingiu média de 28,72 °C, não variando muito durante o ciclo de maré com CV de 2,59 %, caracterizando suas águas como quentes, mesmo com ocorrência de muitas pancadas de chuva, e formação de nuvens no local de coleta. O pico da temperatura ocorreu às 11:25 h. com 29 °C, devido ao maior índice de incidências solar nesse horário. A depressão da temperatura foi verificada às 4:45 h. com 26,2 °C, o que já era esperado, pois nesse horário e nos anteriores havia ausência de incidência de raios solares, efeito que se agravou com a ocorrência de muitas pancadas de chuva durante a madrugada.

As condições de temperaturas na foz Sul não foram muito diferentes das condições encontradas na foz Norte, com média de 28,03 °C; como também não teve CV considerável com 2,24 %, e foi considerado como águas quentes mesmo sendo expostos a condições da sazonalidade. Outras semelhanças encontradas foi quanto ao seu pico e depressão, que ocorreram no mesmo momento (hora) e de valores de temperatura semelhantes, apresentando às 11:25 h. pico de 29,4 °C e às 4:45 h. depressão de 27,2 °C.

As condições de semelhança no parâmetro de temperatura entre a foz Norte e Sul não foram somente atestadas na comparação geral da caracterização, como foi confirmada

pelo teste *t*. Este apresentou resultado igual a 0,39; superior ao nível de significância (0,05); reafirmando as semelhanças entre os dois pontos.

Resultados semelhantes foram encontrados por Ramos (2007) que caracterizou na mesma área de estudo (foz Norte/rio Guajará-mirim) temperaturas semelhantes, com média de 29,7°C na enchente e 29 °C na vazante durante o período chuvoso. A comparação entre as médias de enchente e vazante na foz Norte e Sul no período chuvoso, mostrou que na foz Norte, a média da temperatura foi maior durante a vazante com 29,3 °C; já que o mesmo foi obtido nas horas de maior incidência de raios solares. A média da temperatura da enchente foi menor com 28,5 °C.

Já na foz Sul ocorreu fenômeno semelhante com o descrito acima, com média de temperatura maior na vazante com 29,43 °C; contra a média da temperatura da enchente que obteve 28,67 °C.

No período menos chuvoso, a temperatura na foz Norte ficou próximo aos 29 °C, com média de 28,9 °C; sendo também consideradas neste período como águas quentes. O CV de 1,98 % indicou que este parâmetro não variou muito durante o ciclo de maré. O pico de temperatura ocorreu às 13:30 h. com 29,74 °C; marcando este horário com o maior acumulado de calor no período em questão. Sua depressão como já era esperado ocorreu na madrugada às 3:50 h. com 27,57 °C.

No período menos chuvoso, a temperatura média das águas estuarinas foi de 29,05 °C, na foz Sul e norte, e ocorreu com pouca variação durante o ciclo de maré com CV de 1,78 %, o que caracterizou estas águas como quentes. Entretanto, seu acumulado de calor maior ocorreu às 16:05 h. com 29,86 °C (pico). Já sobre a depressão deste parâmetro, como esperado ocorreu pela madrugada às 3:50 h. com 28,2 °C.

Em geral, o período menos chuvoso demonstrou que a temperatura apresentou semelhanças significativas entre a foz Norte e Sul em relação às médias, como também no comportamento durante o ciclo de maré.

Esta semelhança foi confirmada com o resultado de 0,2 no teste *t*, superior ao nível de significância de 0,05 atestando condições semelhantes entre estes pontos.

Resultados semelhantes foram abordados por Cardoso (2009) que mediu temperatura média de 28,85 °C e Ramos (2007) que encontrou 28,8 °C na enchente e 29,1 °C na vazante, ambos no período menos chuvoso, na foz Norte/rio Guajará-mirim.

As médias da temperatura entre a enchente e vazante tiveram semelhanças nos períodos menos chuvoso e chuvoso. Na foz Norte, média de temperatura de vazante de

28,61 °C foi superior à média de temperatura de enchente (27,67 °C). Entretanto, na foz Sul a média de temperatura de vazante de 28,3 °C foi superior a da enchente (27,77 °C).

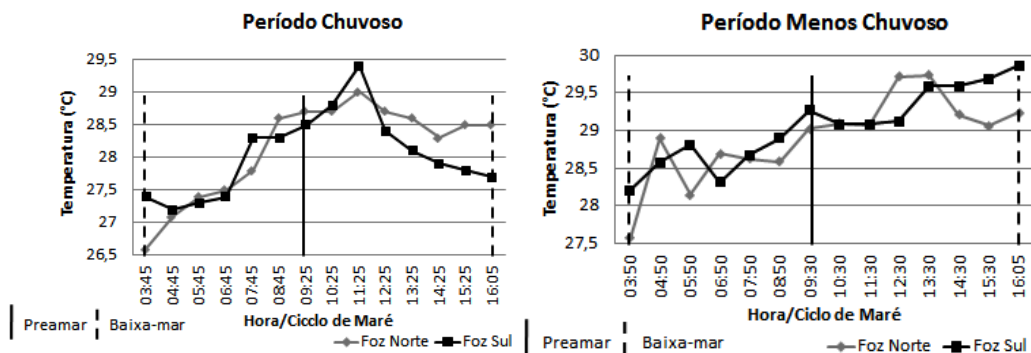


Figura 13 - Variação espaço-temporal da temperatura das águas estuarinas na foz Norte (rio Guajará-mirim / Vígia) e foz Sul (Laura) no furo da ilha de Colares.

As temperaturas das águas estuarinas do furo da ilha de Colares, atestaram pequenas diferenças sazonais, com diferenças em torno de 1 °C entre os períodos. Em geral, as maiores temperaturas ocorreram no período menos chuvoso com médias de 28,9°C e 29,05°C; foz Norte e Sul, respectivamente, e menores no período chuvoso com média de 28,14°C e 28,03 °C na foz Norte e Sul, respectivamente.

Essa pequena diferença identificada entre os períodos sazonais é causado principalmente pelo alto índice pluviométrico (precipitação de águas com baixas temperaturas em relação às águas do furo) e forte presença de nuvens que aumentam o albedo, amenizando as temperaturas das águas durante o período chuvoso.

Os períodos sazonais (chuvoso e menos chuvoso) apresentam poucas diferenças, com características próximas às semelhantes. Essa conclusão foi confirmada através do resultado de 0,2 do teste *t* que foi superior ao nível de significância de 0,05, atestando que existem semelhanças entre os períodos sazonais.

O comportamento da temperatura das águas estuarinas do furo da ilha de Colares assemelha-se com os resultados encontrados por Alves *et al.* (2012) no rio Arari (ilha do Marajó), que mostra que a temperatura das águas variou entre as médias de 27 °C no período chuvoso e de 31,1 °C no menos chuvoso. Ainda Monteiro (2009) determinou média de 28,34 °C no rio Paracauari (ilha do Marajó) no período chuvoso e média de 28,85 °C no período menos chuvoso.

Alves *et al.* (2012) ainda concluiu que essas temperaturas da água são características de um ambiente amazônico, onde a amplitude de variação diária e maior do que a amplitude sazonal. As menores temperaturas ocorrem no período chuvoso em função da cobertura de nuvens, praticamente o dia todo e que não permite a incidência de raios

solares sobre a superfície da água, e temperaturas mais elevadas no período menos chuvoso, pois ocorrem mais horas a exposição da água as incidências solares.

7.3.1.1.2 Salinidade (*Sal*)

A salinidade das águas estuarinas na foz Norte do furo de Colares no período chuvoso apresentou características de água doce, com salinidade média de 0,003; estando a maior parte do ciclo com valor igual a zero. Mesmo assim, o pico de salinidade não apresentou muita diferença do valor mínimo (zero), sendo a salinidade máxima de 0,01 durante a baixa-mar. Este fato pode estar relacionado ao escoamento superficial das águas intersticiais com salinidade de 0,02 (Figura 22a). Este parâmetro não variou muito em relação ao ciclo de maré com CV igual a 13,22 %.

A salinidade na foz Sul no período chuvoso também apresentou características de água doce com média de 0,004; estando também a maior parte do ciclo em zero. A salinidade máxima não é muito diferente ao mínimo (zero), obtendo pico de 0,01 na baixa-mar. Este fato coincide com o escoamento superficial das águas intersticiais de salinidade 0,02 (Figura 22a).

Na foz Sul, também a salinidade não variou muito em relação ao ciclo de maré, com CV de 8,12 %. A exemplo da foz Sul, ocorreram também condições de salinidade muito parecidas na foz Norte, destacando a influência da salinidade das águas intersticiais sobre as águas mais superficiais neste período, no momento da baixa-mar.

Essas semelhanças foram verificadas com a caracterização do furo no período chuvoso, e confirmadas pelo teste t (0,58); acima do nível de significância de 0,05; atestando condições de semelhanças entre a foz Norte e Sul neste.

No período chuvoso as águas na foz Norte e Sul são doces, tendo em vista que a salinidade ficou abaixo de 0,5; de acordo com a classificação da Resolução 357 CONAMA/05, e a classificação de Elliot & Mcclusky (2002) (Tabela 2).

Cardoso (2009) obteve salinidade média de 0,97 na foz Norte (rio Guajará-mirim), um pouco diferente com os dados encontrados neste trabalho, já que este autor encontrou características de águas oligohalinas.

A média da salinidade entre a enchente e vazante no período chuvoso demonstrou semelhanças tanto entre as médias como também entre a foz Norte e Sul. Na foz Norte, a média de salinidade de enchente foi de 0,004 e a de vazante foi de 0,002. Na foz Sul, a média de salinidade de enchente foi de 0,004; e a de vazante foi de 0,001.

Durante o período menos chuvoso, as águas estuarinas na foz Norte apresentam características de águas mesohalino, (salinidade de 5 até 8) de acordo com a classificação de Elliot & Mclusky (2002) (Tabela 2). Com média de 5,54; ficando a maior parte do ciclo de maré com salinidade acima de 5, em um estado quase conservativo. O CV confirma a observação com 6,65 %. O pico de salinidade foi de 6,38 duas horas antes da preamar e depressão de 5,11 uma hora depois da primeira baixa-mar.

Já na foz Sul, as águas estuarinas apresentam características diferentes com as encontradas na foz Norte. Com média de 2,46; estas águas são classificadas como oligohalinas (salinidade de 0,5 até 5) de acordo com a classificação de Elliot & Mclusky (2002) (Tabela 2).

A salinidade na foz Sul também não variou muito em relação ao ciclo de maré com CV de 3,8 %. O pico de salinidade foi de 2,68; 4 horas depois da preamar, e depressão de 2,23; 3 horas depois da primeira baixa-mar.

Durante o período menos chuvoso, as águas estuarinas do furo de Colares tiveram características diferentes, mesohalinas na foz Norte, tendo em vista a proximidades da entrada das águas oceânicas e oligohalinas na foz Sul, devido este ponto ser confinado. Estas diferenças foram confirmadas com a aplicação do teste t (0,02); menor que o nível de significância de 0,05.

Resultados semelhantes foram encontrados por Ramos (2007) que identificou médias de salinidade de 5,9 na enchente e vazante, sendo também classificado como mesohalino na foz Norte/rio Guajará-mirim, no mesmo período.

Cardoso (2009) obteve salinidade média das águas de 7,55 no período menos chuvoso na foz Norte/rio Guajará-mirim, sendo classificadas como mesohalinas.

As médias de salinidade entre a enchente e vazante na foz Norte e Sul no período menos chuvoso foram diferentes:

Na foz Norte, a média da salinidade foi de 5,65 na enchente; e 5,83 na vazante. Entretanto, na foz Sul, a média de salinidade foi de 2,41 na enchente e 2,51 na vazante.

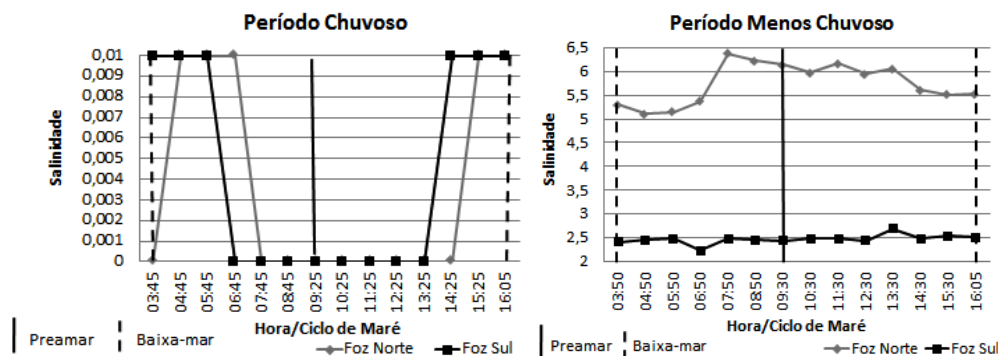


Figura 14 - Variação espaço-temporal da salinidade das águas estuarinas na foz Norte (rio Guajará- mirim / Vigia) e foz Sul (Laura) do furo da ilha de Colares.

Como foi demonstrado, houve diferenças significativas da salinidade das águas estuarinas do furo de Colares (foz Norte/Sul), em relação aos períodos sazonais, classificando as como doces no período chuvoso, sendo neste momento fortemente influenciadas pelas águas fluviais. Entretanto, no período menos chuvoso, as condições mudam, tornando esta águas mesohalinas na foz Norte e oligohalinas na foz sul, ambas influenciadas pela maior penetração das águas oceânicas na baía do Marajó. O teste *t* aplicado durante os períodos sazonais corroboram estes resultados, sendo inferiores ao nível de significância de 0,05 (foz Norte - 0,03 e foz Sul - 0,04).

De acordo com Mekong River Commission (2005) e Monteiro (2009) a salinidade mais elevada no período menos chuvoso está associada à redução do aporte das águas fluviais para a região oceânica, o que permite maior penetração das águas oceânicas no estuário.

Monteiro (2009) ainda encontra diferenças no comportamento sazonal deste parâmetro, ficando evidente a salinidade mais elevada no período menos chuvoso com 7,03 contra 0,04 verificada, no período chuvoso.

7.3.1.1.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH (levemente ácido) das águas estuarinas do furo de Colares atingiu média de 6,65 na foz Norte durante o período chuvoso, relacionado com o domínio das águas fluviais característico deste período. A média do pH confirma os resultados da salinidade neste período. O pH não variou muito em relação ao ciclo de maré com CV de 2,29 %. Obteve pico de pH de 6,87 (levemente ácido) uma hora depois da preamar e pH mínimo de 6,26 (levemente ácido) na primeira baixa-mar.

Todos os dados acima estão dentro dos limites estabelecidos pela Resolução 357 da CONAMA/05 para águas doce, Classe 1 (Limite do pH: 6 até 9).

O pH na foz Sul ocorreu com pequenas diferenças em relação ao registrado na foz Norte. Na foz Sul, a média do pH foi de 5,9 (levemente ácido), não variou muito no decorrer do ciclo de maré, com CV de 6,58 %. O pico de pH foi de 6,73 na primeira baixa-mar, possivelmente relacionado com o escoamento superficial das águas intersticiais, com pH de 7,83 (levemente básico). Este fato demonstra o aporte da água intersticial e dos sedimentos do manguezal nas águas estuarinas neste ponto, na baixa-mar. A depressão do pH na foz Sul teve como resultado 5 e ocorreu três horas depois da preamar.

A única diferença no furo da ilha de Colares, é que as águas da foz Sul tiveram média e mínimo abaixo do limite estipulado pela Resolução da CONAMA, para água doce, Classe 1. As médias e CV's não demonstraram diferenças significativas nas foz Norte e Sul no período chuvoso, atestando características semelhantes.

Esta afirmação é corroborada com a aplicação do teste t (4,7); que foi superior ao nível de significância de 0,05; mostrando condições semelhantes neste período.

Cardoso (2009) encontrou pH médio de 7,3 na foz Norte/rio Guajará-mirim no período chuvoso. Lima & Kobayashi (1988) atribuíram a diminuição do pH no período chuvoso ao aumento do MPS rico em argila e ácidos húmicos provenientes de decomposição de MO vegetal. Cunha e Pascoaloto (2006) relatam que a acidez das águas dos estuários amazônicos seriam provenientes do pH do rio Amazonas (4,7 – 5,5); sendo influenciado pela lixiviação dos solos ácidos e grande quantidade de MO.

Esteves (1998); Horbe *et al.* (2005); Horbe *et al.* (2009); Alves *et al.* (2012) mostram que as águas dos rios amazônicos apresentam tendência ligeiramente ácida, sem danos ao ambiente e sem relação com poluição antrópica.

As médias do pH na enchente e vazante foram semelhantes durante o período chuvoso na foz Norte e Sul. Na foz Norte, a média do pH de enchente foi de 6,58; e a de vazante foi de 6,71. Entretanto na foz Sul, a média de pH de enchente foi de 6,07; e a de vazante foi de 5,73. Resultado este que demonstrou que a vazante apresenta características abaixo dos descritos na Resolução 357 da CONAMA/05. A queda do pH esta possivelmente relacionada ao maior aporte de MO e ácidos húmicos durante a maré vazante.

Durante o período menos chuvoso, os resultados indicam mudanças consideráveis no furo da ilha de Colares, apresentando características de ambiente levemente básico. Fato relacionado com a diminuição da vazão do rio, ocasionando a maior penetração das águas

oceânicas na baía do Marajó, como também no furo. O pH das águas estuarinas do furo da ilha de Colares está em conformidade com a salinidade.

O pH médio foi de 7,76 na foz Norte, neste período, classificado como levemente alcalino com CV igual a 3,83 %, com pouca variação em relação ao ciclo de maré. Seu pico foi de 8,41 duas horas antes da preamar, classificando este ponto como ambiente alcalino neste momento do ciclo.

A depressão do pH foi de 7,3 na foz Norte, classificando este ponto de levemente básico.

O pH médio foi de 7,46 na foz Sul e foi classificado como levemente básico, também não variou muito em relação ao ciclo de maré com CV de 5,27 %. Seu pico ocorreu uma hora antes da preamar com 8,25; sendo também classificado como ambiente alcalino nesse momento do ciclo de maré.

A depressão do pH com 6,86; provou que neste momento do ciclo de maré a foz Sul apresentou características de ambiente levemente ácido, possivelmente causado pela influência do manguezal, mesmo no período menos chuvoso.

As águas da foz Norte e Sul, neste período estão dentro do padrão estabelecido pela Resolução 357 da CONAMA/05, para águas salobras, Classe 1 (Limite pH: 6,5 até 8,5).

As regiões da foz Norte e Sul foram classificadas como levemente alcalinas, já indicando semelhanças entre elas, confirmada com a aplicação do teste t (0,1); superior ao nível de significância de 0,05; que atestou semelhanças entre a foz Norte e Sul, neste período.

Cardoso (2009) encontrou condições semelhantes, com pH médio de 7,75; indicando ambiente levemente básico no período menos chuvoso no rio Guajará-mirim (foz Norte).

As médias do pH de enchente e de vazante foram semelhantes na foz Norte e Sul, entre estes pontos (Tabela 9).

Na foz Norte, a média do pH das águas na enchente foi de 7,67; classificando como levemente básica e a média de pH na vazante foi 7,86; também levemente básica.

Na foz Sul, a média de pH das águas na enchente foi de 7,56; classificado como levemente básica e na vazante de 7,35; também levemente básica.

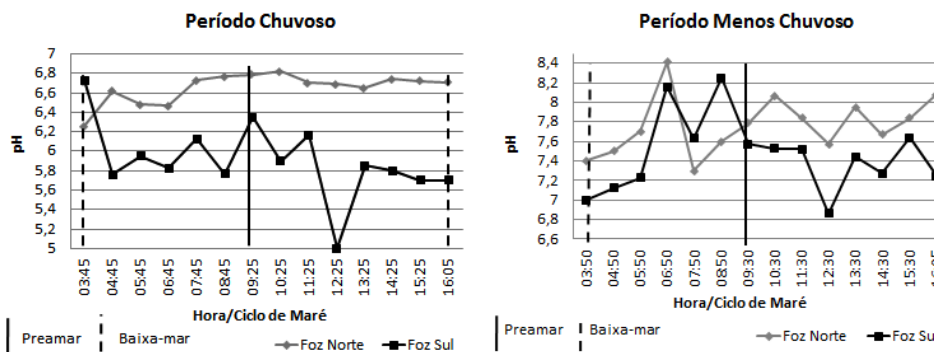


Figura 15 - Variação espaço-temporal do pH das águas estuarinas na foz Norte (rio Guajará-mirim / Vigia) e foz Sul (Laura) do furo da ilha de Colares.

No furo da ilha de Colares, o pH muda sazonalmente, ficando levemente ácido no período chuvoso e levemente básico no menos chuvoso, indicando diferenças entre este períodos. Esta conclusão foi confirmada pelo teste *t*: 0,008 na foz Norte e 0,007 na foz Sul, sendo menores que o nível de significância de 0,05.

Monteiro (2009) encontrou resultados semelhantes, com pH médio de 5,87 (levemente ácido) no rio Paracauari no período chuvoso e pH médio de 7,37 (levemente alcalino) no menos chuvoso. Alves *et al.* (2012) encontraram resultados semelhantes no rio Arari (ilha do Marajó), como águas ácidas (média entre 3,3 e 5,57) no período chuvoso e águas alcalinas (média de pH de 7,8) no período menos chuvoso. Estes mesmos autores relatam ainda que as águas ácidas são provenientes das águas dos rios e as águas alcalinas são provenientes do oceano, que durante o período menos chuvoso invadem a baía do Marajó.

7.3.1.1.4 Condutividade Elétrica (CE)

A CE teve média de 213,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e com ligeira variação em relação ao ciclo de maré, com CV de 37,6 % na foz norte durante o período chuvoso. O pico de CE foi de 318 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que ocorreu uma hora depois da primeira baixa-mar, e depressão de 86 $\mu\text{S}/\text{cm}$, uma hora antes da preamar. Em ambos os momentos, o comportamento da CE coincidiu com a salinidade.

Na foz Sul, a CE teve a média um pouco menor em relação à foz Norte, com 187,35 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O pico de CE foi de 424 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na primeira baixa-mar e depressão de 31 $\mu\text{S}/\text{cm}$, uma hora antes da preamar e outra, uma hora depois da preamar, coincidindo também com a salinidade. A CE ocorreu com grande variação durante o ciclo de maré com CV de 91,47 % na foz Sul.

Como foi visto anteriormente a CV teve médias semelhantes entre os pontos do furo da ilha de Colares. Essas semelhanças foram confirmadas com os resultados obtidos pelo teste *t*, com 0,48; acima do nível de significância de 0,05; atestando os pontos como semelhantes neste período.

As médias de CE na enchente e vazante no período chuvoso mostram algumas semelhanças, onde na foz Norte, a média da CE de enchente foi de 228,14 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 198,85 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na vazante. Entretanto, na foz Sul, a média da CE de enchente foi de 161,71 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 231 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na vazante.

No período menos chuvoso, a CE apresentou condições ambientais diferentes às encontradas no período chuvoso.

O comportamento da CE coincide com a salinidade no mesmo período, e possivelmente está relacionado com a diminuição da vazão fluvial e aumento da penetração das águas oceânicas na baía do Marajó e no furo da ilha de Colares.

A média de CE foi de 10.243 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na foz Norte e não variou muito durante o ciclo de maré com CV de 6,99 %. Seu pico foi de 11.290 $\mu\text{S}/\text{cm}$, duas horas antes da preamar. A sua depressão com 9.204 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ocorreu uma hora depois da primeira baixamar. Como esperado, os momentos de pico e depressão da CE coincidem com os visto na salinidade.

Na foz Sul, a CE alcançou média de 4.655 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e também não variou muito em relação ao ciclo de maré com CV igual a 3,87 %. Seu pico foi de 5.086 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e depressão de 4.227 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Como foi observado a CE apresentou diferenças entre a foz Norte e Sul durante o período menos chuvoso, onde o primeiro ponto, com a sua localização ao norte, recebe influência das águas oceânicas. Essa diferença entre estes pontos também foi identificada através da salinidade neste mesmo período. O teste *t* de 0,04; menor que o nível de significância de 0,05 confirmou essa diferença entre estes dois pontos.

A média de enchente e vazante da CE teve diferenças durante os períodos menos chuvoso e chuvoso, como também na foz Norte e Sul. Na foz Norte, a média da CE de enchente foi de 10.106 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e média e 10.380 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na vazante. Na foz Sul, a média de CE de enchente foi de 4.559 e 4.752 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na vazante.

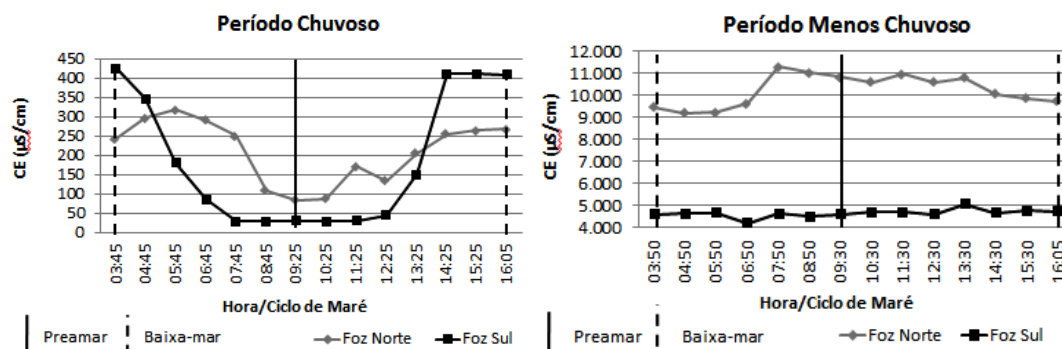


Figura 16 - Variação espaço-temporal da CE das águas estuarinas na foz Norte (rio Guajará-mirim/Vigia) e foz Sul (Laura) do furo da ilha de Colares.

A exemplo da salinidade, houve também diferenças sazonais de CE, que teve valores menores no período chuvoso e maiores no menos chuvoso. Essa diferença foi atestada com a aplicação do teste *t* com 0,03 na foz Norte e 0,04 na foz Sul, estes valores foram menores que o nível de significância de 0,05; revelando a interferência da sazonalidade sobre a CE.

Alves (2010) encontrou CE com forte influência sazonal nas guas do rio Arari (ilha do Marajó), com menores valores no período chuvoso e maiores no menos chuvoso (101,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 153,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$; respectivamente).

7.3.1.1.5 Sólidos Totais Dissolvido (STD)

O STD comportou-se de forma semelhante aos resultados de salinidade e CE no período menos chuvoso. Neste período, o STD teve média de 5.123 mg/L na foz Norte. Não variou muito durante o ciclo de maré com CV de 7,03 %; sendo que seu pico foi de 5.636 mg/L duas horas antes da preamar e sua depressão foi de 4.605 mg/L uma hora depois da primeira baixa-mar.

Como era esperado a foz Sul comportou-se de forma diferente, com resultados inferiores em relação à foz Norte, onde ocorreu com média de 2.377 mg/L, com pico de 2.544 mg/L e depressão de 2.114 mg/L.

Na foz Sul, o STD não variou muito durante o ciclo de maré com CV de 4,63 %.

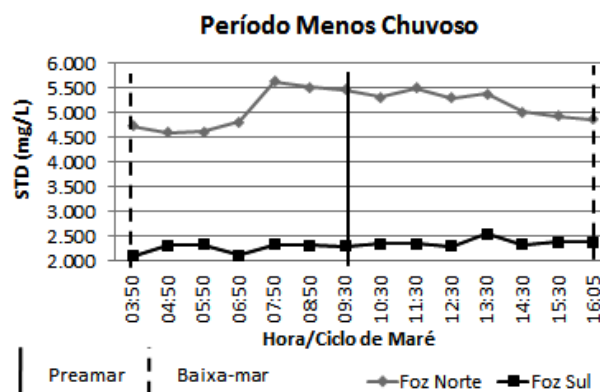


Figura 17 - Variação do STD em um ciclo de maré durante o período menos chuvoso das águas estuarinas na foz Norte (rio Guajará-mirim / Vigia) e foz Sul (Laura) do furo da ilha de Colares.

No período menos chuvoso, o STD teve diferenças significativas na foz Norte e Sul. Tal comportamento ocorreu para a salinidade e CE. Essas diferenças foram atestadas através do teste t , com 0,03; inferior ao nível de significância de 0,05; confirmando a diferença deste parâmetro nos pontos do furo da ilha de Colares neste período.

Monteiro (2009) encontrou resultados semelhantes no rio Paracauari para o mesmo período, com STD máximo de 6.859 mg/L e mínimo de 5.047 mg/L.

A respeito das médias de STD de enchente e vazante, ocorreram com semelhanças entre eles e diferenças entre a foz Norte e Sul. Na foz Norte, a média de STD na enchente foi de 5.060 mg/L e a média de STD na vazante foi de 5.187 mg/L, não ocorrendo diferenças significativas.

Na foz Sul, a média de STD na enchente foi de 2.258 mg/L e 2.377 mg/L na vazante, também não ocorrendo muitas diferenças entre as médias.

7.3.1.1.6 Oxigênio Dissolvido (OD)

O OD apresentou grandes diferenças na foz Norte e Sul, durante o período menos chuvoso, possivelmente relacionado com variação do relevo nestes dois pontos. OD na foz Norte atingiu a média de 5,07 mg/L e seu pico foi de 6,1 mg/L e depressão de 3,69 mg/L.

Apesar de a depressão ser de 3,69 mg/L; em geral, o OD ficou a maior parte do ciclo com concentrações superiores a 5 mg/L, confirmando o CV (15,58 %).

As quedas das concentrações de OD verificadas na foz Norte, foram momentos que coincidem com a aproximação das embarcações que removem o fundo, provocando a ressuspensão dos sedimentos do fundo e da MOP, o que possivelmente consome o OD disponível.

Já na foz Sul, o OD foi considerado muito baixo com média de 0,58 mg/L. Apesar de ocorrer com grande variação no ciclo de maré com CV de 104,86 %, o pico de OD também foi considerado muito baixo, com concentrações de 1,42 mg/L.

A concentração do OD teve aumento a partir de 12:25 h. na foz Sul, podendo estar relacionado com a alta da atividade da produtividade primária neste momento. A depressão da concentração do OD foi de 0,01 mg/L nas primeiras horas do dia. Possivelmente, a diferença do OD entre a foz Norte e Sul está relacionada com a exposição da água em relação aos ventos.

Como a foz Norte é mais aberta com maior largura, fica mais exposta aos ventos, favoráveis para a renovação do OD na água.

Já a foz Sul, que se encontra no meio de dois bosques de manguezal e com menor largura, fica mais protegida dos ventos, dificultando as trocas gasosas entre a atmosfera e as águas superficiais, justificando as baixas concentrações do OD. Esta diminuição do OD é potencializada, já que o manguezal é um ambiente redutor, sendo um sumidouro natural deste parâmetro.

O parâmetro de OD tem maior relação com os ventos, que com a profundidade de Secchi, que atingiu maior profundidade na foz Sul e menor na foz Norte, inversamente ao OD.

A caracterização como um todo já demonstra as diferenças deste parâmetro entre a foz Norte e Sul, sendo confirmadas com o teste t (0,02); inferior ao nível de significância de 0,05, considerando as diferenças entre estes dois pontos neste período.

Resultados semelhantes foram encontrados por Cardoso (2009), com OD médio de 6,58 mg/L na foz Norte / rio Guajará-mirim, no período menos chuvoso. Alves (2010) registrou OD com 2,6 mg/L até 5,9 mg/L no rio Arari (ilha do Marajó) no mesmo período.

De acordo com os autores Junk *et al.* (1981), Melack e Fisher (1983), Esteves (1998) e Alves (2010) propõem que o OD encontrados nas águas dos estuários amazônicos sejam oriundos de trocas gasosas com a atmosfera. Esta atribuição a respeito das águas dos estuários amazônicos toma força, pois a quantidade da MOP e MOD somados com a presença de altas concentrações de MPS presentes na água contribui negativamente na disponibilidade do OD. O MPS limita a penetração da luz nas primeiras camadas de água nessas condições, logo a produtividade algal limita-se a uma área muito pequena nas lâminas d'água, conseqüentemente deduzindo que a produtividade primária não seja a principal fonte de OD nas águas dos estuários amazônicos.

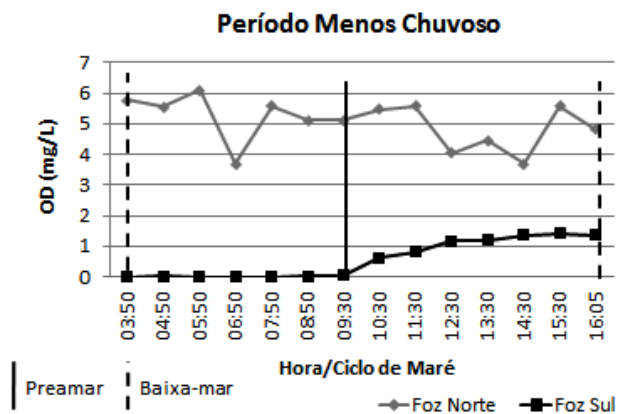


Figura 18 - Variação do OD em um ciclo de maré durante o período menos chuvoso das águas estuarinas na foz Norte (rio Guajará-mirim / Vigia) e foz Sul (Laura) do furo da ilha de Colares.

A média de OD de enchente teve concentração de 5,28 mg/L e 4,81 mg/L na vazante na foz Norte. Já na Foz Sul, a média do OD de enchente teve 0,02 mg/L e 1,14 mg/L na vazante. Como foi explicado, esse fenômeno pode estar relacionado com aumento da atividade da produtividade primária.

O OD das águas estuarinas na foz Norte, em geral, apresentou níveis normais conforme a Resolução 357 da CONAMA/05, com concentrações de 5 mg/L, sendo classificado como Classe 1 para águas salobras. Contudo como foi mencionado anteriormente a média de OD na vazante foi de 4,81 mg/L, nível abaixo dos descritos na Resolução 357 da CONAMA/05, para águas salobras, Classe 1 (Limite de OD: igual ou acima de 5 mg/L).

As águas estuarinas na foz Sul foram consideradas muito abaixo dos valores da Resolução 357 da CONAMA/05, não se enquadrando em nenhuma das classes.

7.3.1.1.7 Material Particulado em Suspensão (MPS)

O MPS atingiu média considerável com 488,07 mg/L na foz Norte durante o período chuvoso. Porém o que chamou a atenção neste ponto, foi a concentração máxima de MPS de 1.783 mg/L na primeira baixa-mar, fato possivelmente associado ao maior escoamento superficial dos sedimentos no momento da baixa-mar, somado com o processo de lixiviação por chuva no decorrer da coleta. Este parâmetro variou bastante em relação ao ciclo de maré, obtendo CV de 86,34 %. A concentração mínima de MPS foi de 127 mg/L uma hora depois da preamar.

Nota-se que neste ponto, as maiores concentrações estão relacionadas com a baixa-mar e as menores com a preamar.

Na foz Sul no mesmo período o MPS apresentou concentrações menores em relação à foz Norte. A concentração média de MPS foi de 159,42 mg/L, com pico de 300 mg/L e depressão de 23 mg/L. O CV foi alto com 75,92 %, revelando muita variação das concentrações do MPS durante o ciclo de maré. Como foi visto, os pontos apresentaram diferenças consideráveis, confirmadas com a aplicação do teste t (0,006); inferior ao nível de significância de 0,05. Tais diferenças podem estar relacionadas ao relevo, ventos e correntes de maré, onde a foz Norte é mais exposta ao vento, contribuindo ao aumento da hidrodinâmica, que pode estar provocando maior capacidade de arrasto de material particulado para a foz. O inverso ocorre na foz Sul, que é mais protegida dos ventos, diminuindo sua capacidade de arrasto de material particulado para as águas.

A média de MPS de enchente na foz Norte foi superior a média de MPS de vazante, com 551,57 mg/L contra 424,57 mg/L; respectivamente, no período chuvoso, tendo em vista a movimentação intensa de embarcações pela parte da manhã na enchente, que possivelmente provocam aumento da média de MPS.

Já na foz Sul, a média de MPS de vazante é superior a média de MPS de enchente, com 165,26 mg/L contra 153,57 mg/L; respectivamente.

No período menos chuvoso, o MPS ocorreu em menores concentrações em ambos os pontos em relação ao contexto no período chuvoso. Ainda, o MPS coincidiu com a profundidade de Secchi em ambos os pontos, neste período.

Na foz Norte, a concentração média do MPS foi de 153,28 mg/L, com pico de 189,5 mg/L e mínima de 99 mg/L. Este parâmetro ocorreu com uma ligeira variação com CV de 25,71 %.

Já na foz Sul, o MPS apresentou concentração média de 32,71 mg/L, com máximo de 56,5 mg/L e mínimo de 21 mg/L. O CV de 32,42 % mostrou que o MPS sofreu uma ligeira variação no decorrer do ciclo de maré.

Nos períodos chuvoso e menos chuvoso, o MPS teve as menores concentrações na foz Sul, em relação à foz Norte do furo da ilha de Colares.

O teste t do MPS neste período revelou diferenças entre os pontos, já evidenciados na caracterização acima, com 0,0007; inferior ao nível de significância de 0,05.

As médias de MPS de enchente e de vazante repetiram o fenômeno ocorrido no período chuvoso, porém em menores proporções. Na foz Norte, a média de MPS de enchente foi maior que a de vazante, com 164,71 mg/L contra 141,85 mg/L;

respectivamente. Entretanto, na foz Sul a média de MPS de vazante foi superior a de enchente, com 33,71 mg/L contra 31,64 mg/L; respectivamente.

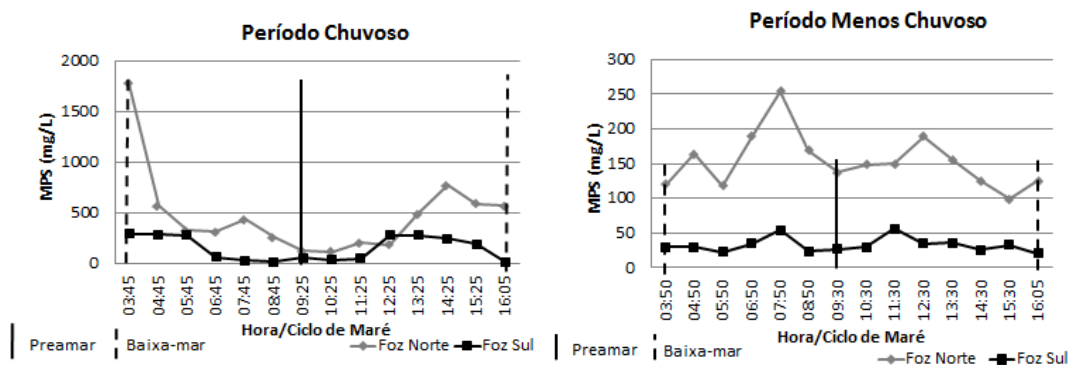


Figura 19 - Variação espaço-temporal do MPS das águas estuarinas na foz Norte (rio Guajará-mirim/ Vigia) e foz Sul (Laura) do furo da ilha de Colares.

As concentrações de MPS apresentaram condições diferentes entre os períodos chuvoso e menos chuvoso. O aumento das chuvas no período chuvoso eleva o processo de lixiviação do solo, carregando grandes concentrações de MPS para os rios.

A diminuição das chuvas no período menos chuvoso diminuem os efeitos de lixiviação causando o efeito contrário.

Esta diferença sazonal da concentração do MPS foi corroborada através do teste *t*, 0,013 na foz Norte e 0,002 na foz Sul, ambos com valores inferiores ao nível de significância de 0,05.

Resultados semelhantes foram encontradas por Cordeiro (1987) no rio Guamá, onde o MPS apresentou concentrações de 467 mg/L no período chuvoso e 83 mg/L no menos chuvoso.

Já Monteiro (2009) encontrou concentrações maiores de MPS entre 41,33 mg/L – 100 mg/L, no período chuvoso e menores entre 12 mg/L - 55 mg/L, no período menos chuvoso no rio Paracauari (ilha do Marajó).

Segundo Bradley & Philip (1999), Monteiro (2009) os estuários tropicais apresentam elevadas concentrações de MPS durante o período chuvoso, quando ocorre o alagamento das áreas adjacentes ao estuário. No período chuvoso, as chuvas somando com a baixa-mar aumentam o MPS nas águas.

Gibbs (1967) relata que as águas do rio Amazonas e seus tributários apresentam concentrações maiores dos sedimentos durante a estação chuvosa, quanto à quantidade de sedimentos em suspensão é bem maior que na estação de menos chuvas.

7.3.1.1.8 Profundidade de Secchi (Secchi)

Na foz Norte, a profundidade de Secchi, com média de 6,1 cm foi considerada muito baixa durante o ciclo de maré no período chuvoso. O pico de 7 cm e a depressão de 5 cm foram considerados baixos também. Este parâmetro não variou muito durante este período, fato atestado com o CV de 13,42 %.

Na foz Sul, neste mesmo período, a profundidade de Secchi teve resultado maior que na foz Norte, mas mesmo assim ocorreu com resultados baixos. A média ocorreu com 17,8 cm, pico de 26 cm e mínimo de 12 cm. O parâmetro ocorreu na foz com significativa variação durante o ciclo de maré, com CV de 75,92 %.

Foram observadas diferenças consideráveis da profundidade de Secchi, com valores maiores na foz Sul em relação a foz Norte. As diferenças foram confirmadas com a aplicação do teste *t* que indicou valor de 0,04; inferior ao nível de significância de 0,05.

As médias de profundidade de Secchi de enchente e de vazante, tiveram relação inversa aos resultados de MPS no período chuvoso, onde como já era esperado, a média da profundidade de Secchi, na enchente é menor que a de vazante, com 4,14 cm contra 6,42 cm, respectivamente, na foz Norte.

Já na foz Sul, as médias de profundidade de Secchi de enchente e de vazante não tiveram muita diferenças, tendo como média 16,21 cm e de 16,85 cm na vazante.

A profundidade de Secchi se comportou diferente nos períodos menos chuvoso na foz Norte e chuvoso, com média de 21,83 cm; pico de 35 cm três horas depois da preamar e depressão de 13 cm, uma hora antes da 2^o baixa-mar. Esses resultados coincidem com os resultados obtidos no MPS. Este parâmetro ocorreu com ligeira variação em relação ao ciclo de maré com CV de 32,96 %, neste período.

A profundidade de Secchi coincidiu com os resultados obtidos no MPS no período. Já a profundidade de Secchi alcançou altos valores na foz Sul, durante o período menos chuvoso. A média da profundidade de Secchi foi de 49,69 cm; não variando muito em relação ao ciclo de maré com CV de 17,14 %. Ocorreu com pico de 63 cm e depressão de 35 cm.

Concentrações menores de MPS foram identificadas na foz Sul em relação à foz Norte, esta condição refletiu no aumento dos resultados da penetração do disco de Secchi.

A profundidade de Secchi atingiu valores superiores na foz Sul, em relação à foz Norte, devido a proximidade da foz Norte a foz da baía de Marajó, favorecendo a hidrodinâmica alta, conseqüentemente o aumento das concentrações de MPS na água. O

contrário ocorre na foz Sul, com aumento deste parâmetro. O resultado do teste t foi de 0,04; sendo menor que o nível de significância, atestando que a profundidade de Secchi no período menos chuvoso tem condições distintas. As médias de Secchi de enchente e vazante, ocorreram tendo relação inversa com os resultados no MPS para o mesmo período, onde na foz Norte, ocorreu média de Secchi de vazante superior a de enchente, com 23,42 cm contra 19,6 cm, respectivamente. A média de Secchi de enchente foi superior a de vazante, com 56,8 cm contra 44,28 cm; respectivamente na foz Sul.

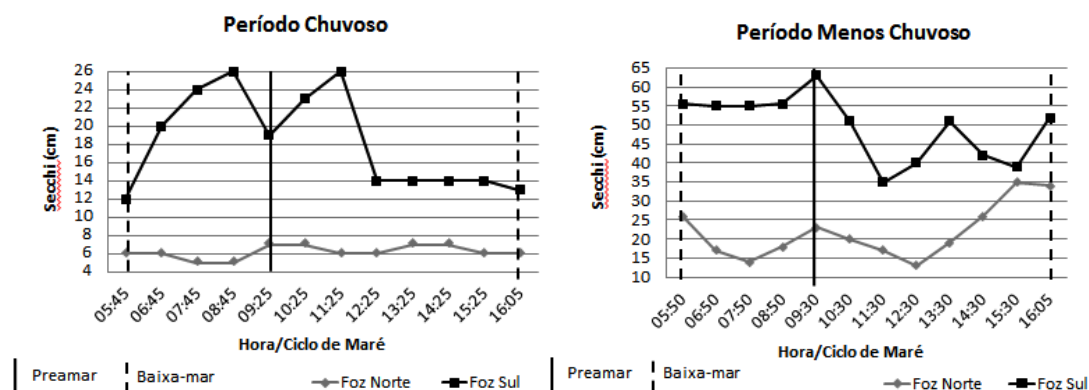


Figura 20 - Variação espaço-temporal da profundidade de Secchi das águas estuarinas na Foz Norte (rio Guajará-mirim / Vígia) e foz Sul (Laura) do furo da ilha de Colares.

A profundidade de Secchi mostrou mudanças sazonais consideráveis, possivelmente referente ao IP, que quando aumenta, os processos de lixiviação fornecem altas cargas de MPS para as águas na foz, e conseqüentemente diminuindo a profundidade de Secchi.

Com a diminuição do IP no período menos chuvoso, reduz o processo de lixiviação, diminuindo assim o MPS das águas, logo aumentando este parâmetro. A diferença sazonal foi atestada e confirmada com o teste t que indicou 0,009 na foz Norte e 0,002 na foz Sul, menores que o nível de significância de 0,05.

Alves (2010) também encontrou profundidade de Secchi menor entre 15 cm e 37 cm e maior no período menos chuvoso e entre 25 cm e 45,5 cm no período chuvoso.

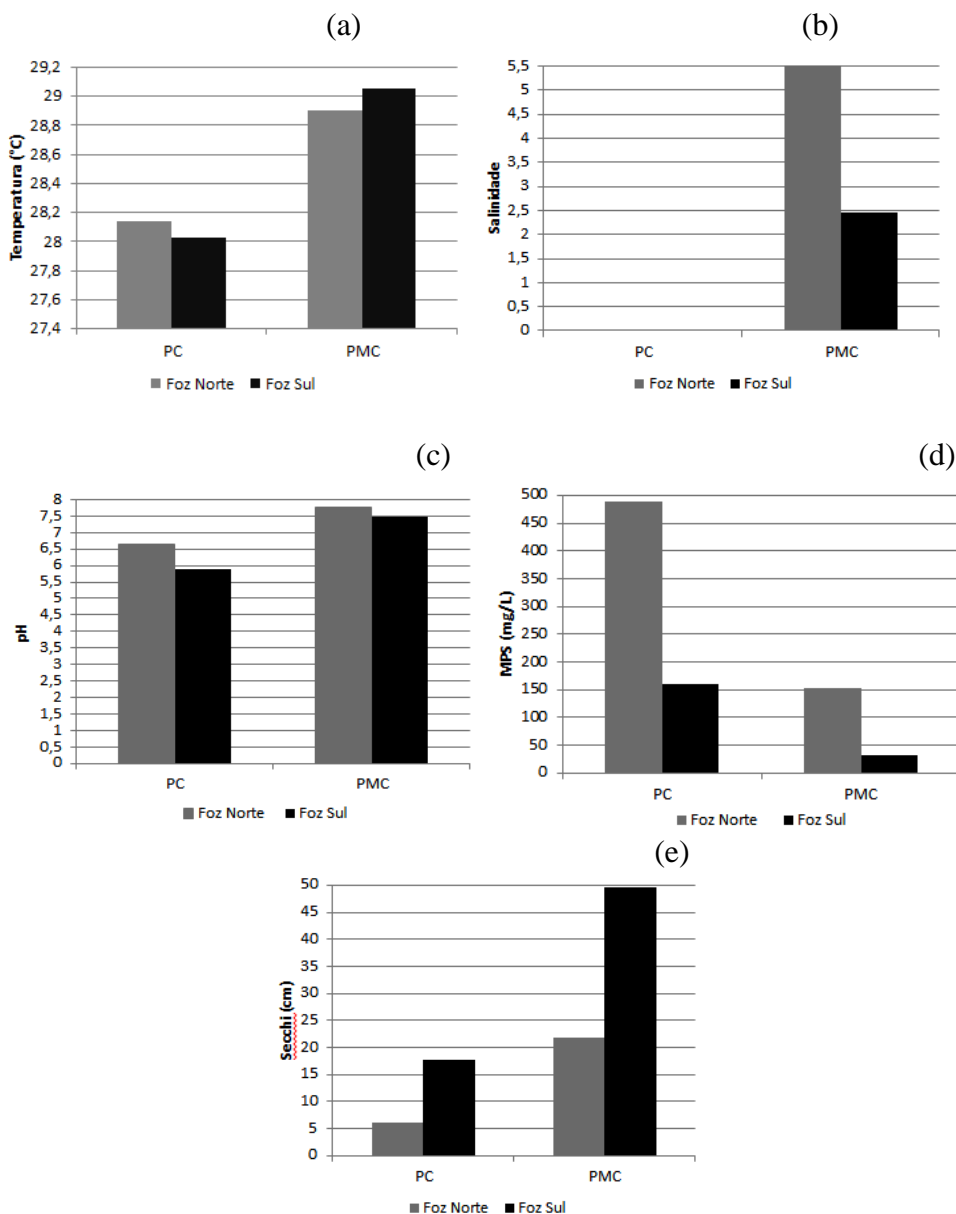


Figura 21 - (a) Médias de temperatura das águas da foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC) (b) médias de salinidade na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC) (c) médias de pH na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC) (d) médias de MPS na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC) (e) médias da profundidade de Secchi na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC).

Tabela 9 – Média dos parâmetros físicos e químicos da enchente e da vazante das águas superficiais na foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares durante os períodos chuvoso e menos chuvoso.

	Período Chuvoso		Período Menos Chuvoso	
	Enchente	Vazante	Enchente	Vazante
Foz Norte				
T° (C°)	28,5	29,3	27,67	28,61
Sal	0,004	0,002	5,67	5,83
pH	6,58	6,71	7,67	7,86
CE (µS/cm)	228,14	198,85	10.106	10.380
STD (mg/L)	----	----	5.060	5.187
OD (mg/L)	----	----	5,28	4,81
MPS (mg/L)	551,57	424,57	164,71	141,85
Secchi (cm)	4,14	6,42	19,6	23,42
Foz Sul				
T° (C°)	28,67	29,43	27,77	28,3
Sal	0,004	0,001	2,41	2,51
pH	6,07	5,73	7,56	7,35
CE (µS/cm)	161,71	231	4.559	4.752
STD (mg/L)	----	----	2.258	2.377
OD (mg/L)	----	----	0,02	1,14
MPS (mg/L)	153,57	165,28	31,64	33,71
Secchi (cm)	16,21	16,85	56,8	44,28

7.3.1.2 Parâmetros Físicos e Químicos das Águas Intersticiais

Tabela 10 - Parâmetros físicos e químicos das águas intersticiais da foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares durante os períodos chuvoso e menos chuvoso.

Parâmetros	Físicos	Período Chuvoso				Período Menos Chuvoso			
		pH	Sal	CE (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Sal	CE (µS/cm)	STD (mg/L)
Foz Norte		7,3	0,02	55	28	8,03	0,18	375	188
Foz Sul		7,83	0,02	84	42	7,9	0,06	117	59

7.3.1.2.1 Salinidade (Sal)

A salinidade das águas intersticiais é superior a das águas superficiais, na foz Norte e Sul durante o período chuvoso (Tabela 10). Tais fatos podem indicar que os sedimentos transferem sua salinidade retida nos sedimentos do período menos chuvoso e liberam para as águas superficiais no período chuvoso no momento da baixa-mar, através do escoamento superficial das águas intersticiais.

A salinidade das águas intersticiais é mais baixa que as águas superficiais durante o período menos chuvoso, porém mais alta no período chuvoso (Figura 22a), podendo sofrer influência das águas sobrepostas. A estabilidade da salinidade das águas intersticiais entre os sedimentos e este ambiente mais estável cria a possibilidade de colonização propícia para organismos bentônicos.

7.3.1.2.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH das águas intersticiais foi levemente básico, sendo mais básico no Sul, durante o período chuvoso. O pH das águas superficiais aumentou em 6,73 durante a baixa-mar na foz Sul (Figura 15) . Já no período menos chuvoso, o pH não muda, sendo considerado básico. A tabela 10 mostra uma tendência das águas intersticiais com pH básico, em ambas os pontos, principalmente na foz Sul.

De acordo com Mendes Filho (2009) essa acentuada alcalinidade na foz Sul (manguezal da Laura) em ambos os períodos e identificado também no período menos chuvoso na foz Norte (Vigia), possivelmente resultado do início de formação de hidróxidos de ferro, de alumínio e de outros metais. O mesmo autor relata que o pH do solo é um importante parâmetro controlador do estado químico de oxi-redução e da mobilidade de muitos compostos químicos aprisionados nos sedimentos. O regime de maré afeta frequentemente a química dos solos, porque durante a maré baixa, o solo superficial resseca e o oxigênio penetra para áreas mais profundas, favorecendo a oxidação de compostos químicos.

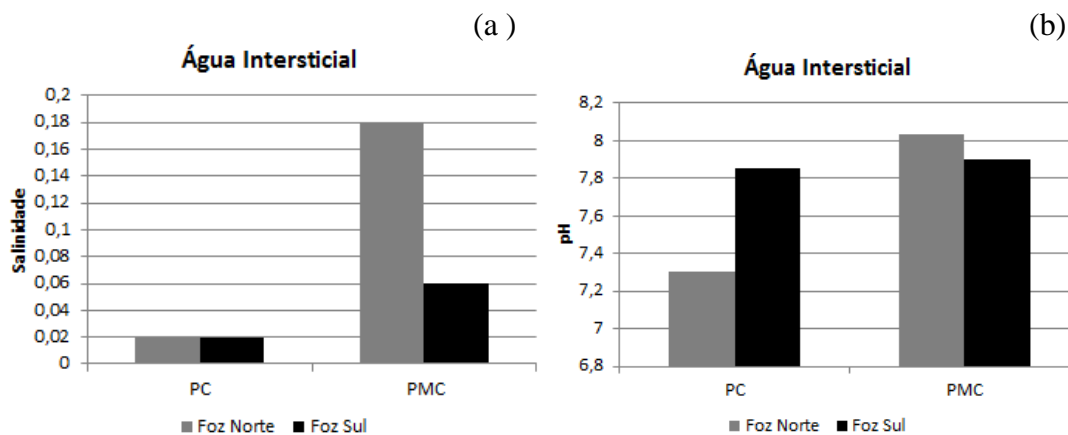


Figura 22 - (a) Salinidade da água intersticial na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC) (b) pH da água intersticial na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC).

7.3.2 Caracterização dos Nutrientes Dissolvidos das Águas do Furo da Ilha de Colares

Os estuários são de fundamental importância devido as suas características exclusivas de hidrodinâmica, fluxo de maré, e aporte de nutrientes trazidos pelos rios que são constantemente depositados, reciclado e exportados para os oceanos, garantindo ao mesmo uma alta produtividade.

Por esse motivo, os estuários são habitados por diversas espécies de organismos da fauna e flora que dependem diretamente deste tipo de ambiente. A riqueza dos estuários é conseqüentemente importante para atividades humanas, como pesca e turismo e representa a base da cadeia ecológica (produtores primários) que depende da disposição de seu alimento (nutrientes dissolvidos, principalmente o nitrato, nitrito, N-amoniaco, fosfato e silicato). Será exposto o comportamento espaço-temporal dos nutrientes dissolvidos das águas estuarinas do furo da ilha de Colares e da água intersticial.

7.3.2.1 Caracterização dos Nutrientes Dissolvidos das Águas Superficiais do Furo da Ilha de Colares

Tabela 11 - Média, máximo, mínimo, coeficiente de variação (CV) e teste *t* dos nutrientes dissolvidos nas águas da foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares nos períodos chuvoso e menos chuvoso.

	Período Chuvoso					Período Menos Chuvoso				
	Média	Máx	Mín	CV	Teste <i>t</i>	Média	Máx	Mín	CV	Teste <i>t</i>
Foz Norte										
NO ₃ ⁻ (mg/L)	1,03	2,5	0,6	54,43	0,07	0,14	0,6	0	148,21	0,02
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,004	0,015	0	140,85	0,27	0,005	0,011	0,003	45,86	0,13
NH ₃ -NH ₄ ⁺ (mg/L)	2,7	3,8	2,2	18,21	0,0006	0	0	0	0	0
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0,03	0,28	0	212,71	0,39	0,04	0,3	0	182,22	0,33
SiO ₂ (mg/L)	16,63	29,92	13,6	29,62	0,86	14,73	44,1	4,3	78,12	0,22
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	14,54	23	7	32,24	0,82	387,14	450	330	8,62	0,002
Foz Sul										
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,7	1,1	0,3	35,89	0,07	0	0	0	0	0,02
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,005	0,009	0,003	26,56	0,27	0,007	0,015	0,002	64,82	0,13
NH ₃ -NH ₄ ⁺ (mg/L)	2,01	3	1,5	20,44	0,0006	0	0	0	0	0
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0,01	0,03	0,01	45,34	0,39	0,02	0,06	0,01	78,44	0,33
SiO ₂ (mg/L)	17	28,17	9,42	34,45	0,86	20,6	46,06	10,44	52,99	0,22
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	15,07	39	2	73,86	0,82	180,71	200	160	7,34	0,002

Nível de significância do teste *t* = 0,05.

7.3.2.1.1 Nitrato (NO₃⁻)

No furo de Colares, o nitrato foi considerado muito abundante durante o período chuvoso, apesar disso suas concentrações estão de acordo com os descritos na resolução 357 da CONAMA/05, para água doce, Classe 1 (Limite de NO₃⁻ igual ou inferior a 10 mg/L). A foz Norte teve média de 1,03 mg/L. Este fato está relacionado possivelmente, com a proximidade de fonte antropogênica (município de Vigia) nesta área, contribuindo com o aumento da concentração de nitrato. O pico de concentração de nitrato foi de 2,5 mg/L e a mínima foi de 0,6 mg/L. O nutriente comportou-se com significativa variação durante o ciclo de maré com CV de 54,43 %.

Na foz Sul, a concentração de nitrato também foi considerada alta, mas mesmo assim menor que a encontrada na foz Norte. Ressalta-se que a foz Sul é distante de fonte antropogênica e os níveis altos de nitrato são de origem natural (mangue).

A concentração alta de nitrato na foz Sul é proveniente possivelmente da lixiviação dos solos do manguezal, que são diariamente lavados no período chuvoso.

O N-amoniaco e nitrito derivados da MOP em contato com OD transformam-se em nitrato, sua forma mais estável.

A concentração média do nitrato foi de 0,7 mg/L na foz Sul. A concentração máxima do nitrato foi de 1,1 mg/L e ocorreu na baixa-mar, possivelmente relacionada com o escoamento superficial das margens adjacentes. Já que as águas intersticiais da foz Sul foi de 2,5 mg/L.

Ambas as concentrações mencionadas acima estão de acordo com o padrão descrito pela CONAMA, para água doce, Classe 1.

A concentração mínima de 0,3 mg/L ocorreu na preamar, momento do ciclo de maré que ocorre o maior grau de diluição. O nitrato dissolvido teve considerável variação em relação ao ciclo de maré com CV de 35,89 %.

Apesar de algumas diferenças na concentração do nitrato dissolvido nas águas da foz Norte e Sul durante o período chuvoso, o teste *t* atestou que estas águas são semelhantes, com 0,07; superior ao nível de significância.

Monteiro (2009) relata que a concentração de nitrato nas águas estuarinas são mais elevadas do que a do íon amônio e do nitrito, pois além de ser a espécie de nitrogênio considerada mais estável. Com a participação do OD, ocorre o processo de nitrificação (oxidação), e aumento da concentração de nitrato dissolvido na água. O mesmo processo ocorreu nas águas intersticiais.

As médias de concentração do nitrato de enchente e de vazante foi maior na vazante durante o período chuvoso (Tabela 12). Este fato deve ser atribuído ao processo de lixiviação e fluxo da vazão maior do rio neste período do ano, junto com a vazante, aumenta a capacidade de arrasto de nutrientes neste momento da maré.

Já durante o período menos chuvoso o nitrato dissolvido comportou-se de maneira totalmente diferente que no período chuvoso, atribuindo o fator IP o maior responsável pela mobilidade e distribuição deste nutriente.

Na foz Norte, este nutriente não foi observado (0 mg/L), em vários momentos, principalmente durante a vazante. O nutriente dissolvido pode estar sendo adsorvido pelos

produtores primários e/ou com pouca disponibilidade nas águas, ou diluído para níveis não detectáveis (abaixo do LD).

O nitrato dissolvido ocorreu com grande variação em relação ao ciclo de maré com CV de 148,21 %. Os momentos que resultaram nessa grande variação de comportamento coincidem com as maiores concentrações no ciclo de maré, que foi de 0,6 mg/L e de 0,5 mg/L, durante a baixa-mar e uma hora depois, respectivamente.

Esse fato está diretamente relacionado com o contato das águas mais superficiais com as águas intersticiais que teve leitura de 1,15 mg/L (Figura 30), provocando a mistura, através do escoamento superficial na baixa-mar e/ou por difusão molecular.

O nitrato aparece nas primeiras horas do dia, entretanto a partir das 10:30 h., o mesmo não foi detectado, este fato está de acordo com o aumento de atividade fitoplanctônica nesta hora do dia, que pode estar absorvendo todo nutriente disponível.

A média de concentração de nitrato na foz Norte no período menos chuvoso foi de 0,14 mg/L.

Mesmo que este nutriente teve média baixa não foi detectado durante a maior parte do ciclo de maré. Entretanto, o nutriente apareceu em alguns momentos, com concentrações de 0,6 mg/L e de 0,5 mg/L, sendo estes resultados acima dos descritos pela Resolução 357 da CONAMA/05, para águas salobras, Classe 1 (Limite de NO_3^- igual ou inferior a 0,4 mg/L). Este fato pode ser explicado pela influência das águas intersticiais e/ou fontes antropogênicas.

Na foz Sul, no mesmo período o nitrato foi ausente em todo o ciclo de maré, podendo estar sendo consumido pelos produtores primários e/ou sendo diluído a níveis não detectáveis, havendo apenas nitrato na água intersticial com de 0,6 mg/L.

A não detecção do nitrato na foz sul (manguezal da Laura) pode estar devido ao caráter de um ambiente redutor, ocorrendo o processo de desnitrificação, reduzindo o nitrato para nitrito.

A caracterização deste nutriente traz diferenças em ambas os pontos durante o período menos chuvoso, sendo atestadas com o resultado do teste t (0,02), inferior ao nível de significância. Este fato deduz a existência de diferença significativa entre as extremidades do furo da ilha de Colares, com possível proximidade da foz Norte da fonte antropogênica. Neste período, a média de nitrato dissolvido foi presente na maré de enchente com 0,29 mg/L e ausente na maré de vazante.

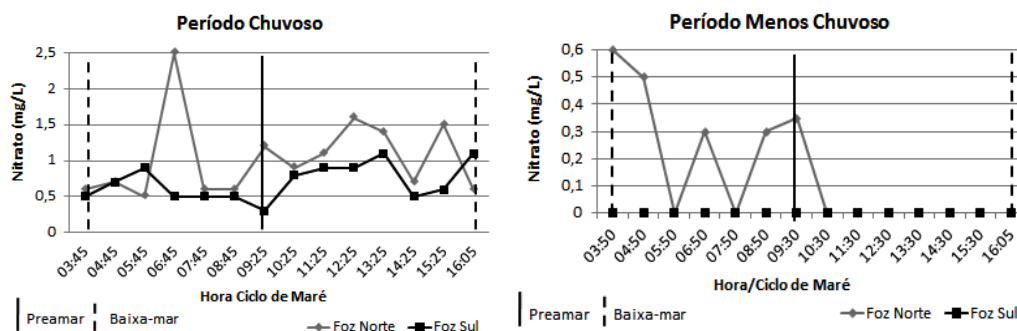


Figura 23 - Variação espaço-temporal do nitrato dissolvido nas águas estuarinas da foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares.

O nitrato foi abundante no período chuvoso, sendo disponibilizado a todo o momento nas águas estuarinas do furo da ilha de Colares (foz Norte e Sul). Este fato revela que o próprio furo pode ser fonte de nitrato, considerando a disponibilidade de OD combinado com ação de microrganismos (bactérias) que facilita a oxidação (processo de nitrificação) e disponibiliza rapidamente para esta área, concentrações de nitrato em níveis consideráveis. Há concentrações consideráveis de nitrato também na foz Sul (Laura) distante de ação antropogênica.

Durante o período menos chuvoso, a ausência é parcial ou total deste nutriente (Figura 23), na foz Norte e Sul, respectivamente. Este nutriente foi considerado limitante para a produção primária no período menos chuvoso. A presença pequena do nitrato na foz Norte e a ausência na foz Sul (Laura) no período menos chuvoso podem ser explicadas pelo processo de desnitrificação, principalmente na foz Sul (ambiente redutor – manguezal).

Embora o processo de desnitrificação seja considerado estritamente anaeróbico, a ocorrência de desnitrificação aeróbica tem sido relatada em sedimentos estuarinos (Pattinson *et al.* 1998, Cartaxana & Loyd 1999).

De acordo com Pina-Ochoa & Alvarez Cobelas (2006), o processo de desnitrificação pode ajudar a regular o excesso deste composto em ecossistemas aquáticos com suas concentrações elevadas pela ação antropogênica ou natural.

De acordo com o que já foi mencionado e com toda a caracterização geral do nitrato dissolvido entre os períodos sazonais. O teste *t* confirmou as diferenças existentes, com 0,0001 na foz Norte e 0,0011 na foz Sul, ambas abaixo do nível de significância.

Monteiro (2009) determinou o nitrato como mais elevado no período chuvoso decorrente à intensa lixiviação provocada neste período. Relata ainda que o próprio

estuário funciona como fonte de nitrato, o qual é possivelmente produzido por processos microbiológicos nos sedimentos de fundo e transferido para a coluna de água.

Já Moura (2007) encontrou na baía do Guajará (Icoaraci) no período menos chuvoso concentração de nitrato dissolvido com mínimo de 0,4 mg/L e máximo de 0,7 mg/L e no período chuvoso concentração mínima de 0,2 mg/L e máximo de 0,8 mg/L.

7.3.2.1.2 Nitrito (NO_2^-)

Na foz Norte, o nitrito teve média de 0,004 mg/L com alguns momentos de ausência (0 mg/L), durante o período chuvoso. Este fato está relacionado possivelmente com os momentos de incidência de chuvas na estação de coleta (foz Norte), podendo estar diluindo o nitrito dissolvido em níveis não detectáveis. A concentração zero deste nutriente seria explicada pela localização bastante aberta da foz Norte sobre a baía do Marajó, facilitando a mistura do nitrito dissolvido com o OD, transformando o nitrito em nitrato (oxidação). O pico de concentração do nitrito dissolvido foi de 0,015 mg/L.

Tanto a média como o pico de concentração estão bem abaixo dos descritos pela resolução 357 da CONAMA/05, para água doce, Classe 1 (Limite de NO_2^- igual ou abaixo de 1 mg/L).

Foi observada uma grande variação do nutriente em relação ao ciclo de maré com CV de 140,85 %, o que demonstra a instabilidade da molécula.

Já na foz Sul no mesmo período, o nitrito dissolvido ocorreu com média de 0,005 mg/L, com pico de 0,009 mg/L e mínima de 0,003 mg/L.

Condições semelhantes foram encontradas na foz Norte quando ao padrão de qualidade, sendo este nutriente fica muito abaixo do descrito na Resolução 357 da CONAMA/05 (Classe 1).

A origem deste nutriente é que do mesmo pode estar relacionada com a interação das águas intersticiais (0,05 mg/L de nitrito dissolvido) com as águas mais superficiais.

Na foz Sul, o nutriente não variou muito, com CV de 26,56 %. A estabilidade do nitrito neste caso deve-se ao manguezal como fonte constante deste nutriente para as águas.

O nitrito dissolvido comportou-se de maneira semelhante no período chuvoso. Essa semelhança foi atestada pelo teste t (0,27); maior que o nível de significância. Logo não existe diferença significativa entre os pontos. Foi atestado que a média de vazante foi superior a média de enchente, com 0,006 mg/L contra 0,004 mg/L; respectivamente, no período chuvoso.

Foi observada a presença do nutriente no furo da ilha de Colares (em ambos os pontos) não sendo considerada limitante para a produção primária, durante o período menos chuvoso. Na foz Norte, a concentração média deste nutriente foi de 0,005 mg/L, máxima de 0,011 e mínima de 0,003 mg/L. Entretanto, as concentrações estão muito abaixo dos descritos na Resolução 357 da CONAMA/05, para águas salobras, Classe 1.

O CV deste nutriente foi considerável, com 45,86 %. Na foz Sul ocorreu com concentração média de 0,007 mg/L; pico de 0,015 mg/L e depressão de 0,002 mg/L.

Condições de concentrações semelhantes com os encontrados na foz Norte, logo na foz Sul também foram encontrados em níveis muito abaixo dos descritos pela CONAMA, para águas salobras, Classe 1.

Ainda na foz Sul, o nutriente ocorreu com variação considerável no decorrer do ciclo de maré com CV de 64,82 %.

As maiores concentrações para o nitrito dissolvido ocorreram no momento da baixa-mar, devido ao maior contato das águas superficiais com o escoamento superficial da água intersticial e/ou por difusão molecular, este que apresentam maiores concentrações do nutriente (0,48 mg/L de nitrito dissolvido).

As maiores concentrações para o nitrito dissolvido ocorreram no momento da baixa-mar, devido ao maior contato das águas superficiais com o escoamento superficial da água intersticial, este que apresentam maiores concentrações do nutriente (0,48 mg/L).

As semelhanças das águas foram confirmadas com do teste t (0,13); maior que o nível de significância. As diferenças entre a média de nitrito dissolvido de enchente e vazante durante este período, também foram atestadas média de vazante superior em relação com a média de enchente, com 0,004 mg/L contra 0,003 mg/L; respectivamente.

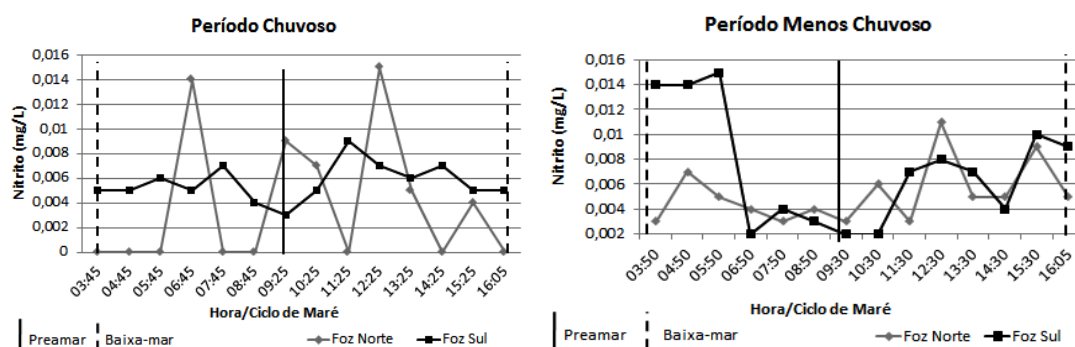


Figura 24 - Variação espaço-temporal do nitrito dissolvido nas águas estuarinas da foz Norte e foz Sul no furo da ilha de Colares.

O nitrito apesar de ser considerado nutriente limitante para a produtividade primária, foi encontrado em ambos os períodos, em condições de concentração semelhantes. O teste *t* indicou resultados de 0,3 na foz Norte e 0,2 na foz Sul.

O comportamento sazonal do nitrito dissolvido teve semelhanças, não atribuindo ao IP o principal fator de mobilidade e dispersão do nutriente.

Resultados semelhantes foram encontrados por Monteiro *et al.* (2008) no estuário Caeté/Bragança, em ambos os períodos (PC - 0,15 μM e PMC - 0,73 μM). Azevedo *et al.* (2008) não encontraram um padrão sazonal deste nutriente, sendo semelhante tanto no período chuvoso (0,2 $\mu\text{M/L}$) como no menos chuvoso (0,25 $\mu\text{M/L}$).

7.3.2.1.3 N-amoniacal ($\text{NH}_3 - \text{NH}_4^+$)

O N-amoniacal esteve presente e muito abundante na foz Norte, considerado muito abundante, porém estão de acordo com padrões estipulados pela Resolução 357 da CONAMA/05, para água doce, Classe 1 (Limite de $\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$: igual ou abaixo de 3,7 mg/L).

Este nutriente teve concentração média de 2,7 mg/L e mínima de 2,2 mg/L. Entretanto, a concentração máxima de 3,8 mg/L, foi considerada acima dos descritos pela CONAMA. Este fato é possivelmente relacionado às fontes antropogênicas próximos do local de coleta.

O nutriente não variou muito no decorrer do ciclo de maré com CV de 18,21 %. O que significa que os efeitos constantes de lixiviação causadas pelo alto IP, disponibiliza o nutriente em todo o momento.

A abundância deste nutriente pode estar relacionada com o tempo nublado e/ou chuvoso, que pode estar diminuindo a atividade fitoplanctônica neste período. A foz Norte é próxima de fontes antropogênicas (município de Vigia) que pode estar mantendo este nutriente em concentrações acima do limite estipulado pela CONAMA.

Já na foz Sul, o N-amoniacal foi também abundante, com concentração média de 2,01 mg/L, no mesmo período, um pouco menor do que na foz Norte.

Sua concentração máxima foi de 3 mg/L no momento da baixa-mar, fato relacionado com o escoamento superficial e/ou por difusão molecular da água intersticial com concentração de 3,2 mg/L (Figura 32). A concentração mínima foi de 1,5 mg/L. Na foz Sul o nutriente está de acordo com o limite descrito na Resolução 357 da CONAMA/05.

Neste ponto, este nutriente variou pouco também, no decorrer do ciclo de maré com CV de 20,44 %. As constantes lixiviações característicos do período chuvoso disponibilizam este nutriente em todo momento.

Como já foi mencionado, a foz Sul encontra-se distante de atividades antropogênicas, logo, suas altas concentrações de N-amoniacoal são de origem natural (bosques de manguezal).

Apesar de encontrar algumas semelhanças na caracterização do N-amoniacoal, nos pontos no furo de Colares, foi atestado através do teste *t* que as fozes são distintas, com 0,0006; abaixo do nível de significância, deduzindo que existem diferenças na disponibilidade e na sua distribuição no decorrer do ciclo de maré.

Foi atribuído o maior causador da diferença do nutriente N-amoniacoal nos pontos, devido a proximidade da foz Norte com fontes antropogênicas. As diferenças entre as médias de concentrações do N-amoniacoal de enchente e vazante no período chuvoso, mostrou que na foz Norte, a média de N-amoniacoal de vazante foi superior com 3,01 mg/L contra 2,44 mg/L, na enchente. O contrário ocorre na foz Sul onde a média da concentração do N-amoniacoal de enchente foi superior com 2,04 mg/L contra 1,9 mg/L, na vazante.

O N-amoniacoal manteve-se nulo (0 mg/L) na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares, em todo o ciclo de maré, no período menos chuvoso.

Como a amônia (NH_4^+) é o composto preferencial dos produtores primários, devem estar sendo absorvido pelos mesmos e/ou sendo diluído à níveis não detectáveis (abaixo do LD). Este nutriente pode estar aprisionado nos sedimentos que tem carga negativa (muita presença de MO), já que o N-amoniacoal possui carga positiva. Fato que confirma o aprisionamento do nutriente nos sedimentos é que o N-amoniacoal foi encontrado apenas na água intersticial com 0,9 mg/L na foz Norte e 1,44 mg/L na foz Sul (Figura 32). A ausência do nutriente pode estar associada ao processo de desnitrificação no furo da ilha de Colares, durante o período menos chuvoso.

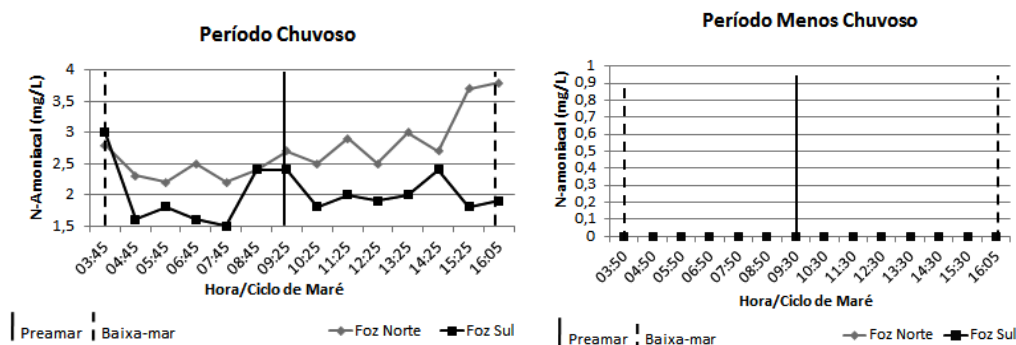


Figura 25 - Variação espaço-temporal do N-amoniaco dissolvido nas águas estuarinas da foz Norte e foz Sul no furo da ilha de Colares.

O N-amoniaco no geral foi caracterizado como abundante no período chuvoso. E no período menos chuvoso, este nutriente foi ausente ou abaixo do LD, o que demonstra diferenças sazonais. O teste *t* reafirma as diferenças sazonais das águas estuarinas do furo da ilha de Colares, com 0,0026 na foz Norte e 0,0011 na foz Sul. Este fato comprova que o IP interfere diretamente na disponibilidade do N-amoniaco no período chuvoso e com diminuição do IP, reflete a ausência deste nutriente.

Eschrique *et al.* (2011) encontraram no complexo estuarino-lagunar de Cananéia e Iguapé (litoral Sul de São Paulo), concentrações do N-amoniaco, com mínimo de 0,02 mg/L, máximo de 0,07 mg/L em Cananéia e mínimo de 0,02 mg/L e máximo de 0,03 mg/L no Iguapé, durante o período chuvoso.

7.3.2.1.4 Fosfato (PO_4^{3-})

Na foz Norte do furo de Colares, o fosfato foi detectado, mesmo que em baixas concentrações, com média de 0,03 mg/L, no período chuvoso. A concentração máxima foi de 0,28 mg/L e em alguns momentos do ciclo de maré o nutriente foi ausente (0 mg/L) ou abaixo do LD.

Vale ressaltar que apesar de que a média do fosfato dissolvido ter sido considerada baixa, a concentração máxima do nutriente ultrapassa o limite estabelecido pela Resolução 357 da CONAMA/05, para água doce, Classe 1 (Limite de PO_4^{3-} : igual ou abaixo de 0,1 mg/L).

O fosfato dissolvido possivelmente tem origem sedimentar, rico em MO, pois sua presença na água intersticial foi superior em relação às águas superficiais, com concentração de 0,6 mg/L (Figura 33). O fosfato variou muito durante o ciclo de maré com CV de 212,71 %.

Apesar do pH na foz Norte durante o período chuvoso apresentar características facilitadoras para a liberação do fosfato do sedimento para as águas mais superficiais, o resultado da água intersticial indica que o gradiente de concentração que funciona basicamente como uma difusão molecular via água intersticial sentido de maior concentração para o de menor concentração é o que deve estar ocorrendo neste caso específico.

Baumgarten *et al.* (2001) relatam que apesar da existência de outros fatores de transporte dos nutrientes da água intersticial para as águas mais superficiais, considera como o principal e mais comum em ambientes de estuário o transporte por difusão molecular.

Na foz Sul, o fosfato dissolvido foi encontrado em baixas concentrações, com média de 0,01 mg/L, durante o mesmo período. A concentração máxima também foi baixa com 0,03 mg/L. O nutriente foi sempre presente durante o ciclo de maré, com concentração mínima de 0,01 mg/L. O aporte de fosfato ocorre possivelmente na foz Sul, pois o mesmo deve ser fonte de fosfato dissolvido, proveniente de decomposição de MO presente nos bosques de manguezal.

As concentrações do fosfato dissolvido na foz Sul sempre estiveram de acordo com a classificação da CONAMA, para água doce, Classe 1. O CV de variação na foz Sul foi de 45,34 %.

O fenômeno de difusão molecular ocorrido na foz Norte, ocorre possivelmente na foz Sul, já que a concentração da água intersticial neste ponto foi de 0,14 mg/L, concentração superior as encontradas nas águas superficiais.

As semelhanças do fosfato dissolvido na foz Norte e Sul foram positivas durante o período chuvoso, já que o teste *t* foi de 0,39; superior ao nível de significância de 0,05.

As médias de fosfato dissolvido de enchente e vazante na foz Norte a média do fosfato dissolvido de vazante foi maior (0,055 mg/L) que na enchente (0,012 mg/L).

Já na foz Sul, o processo se inverte, e a média de fosfato dissolvido de enchente é superior (0,017 mg/L) que na vazante (0,015 mg/L).

O fosfato dissolvido no período menos chuvoso não foi considerado nutriente limitante para a produção primária no furo da ilha de Colares, onde a concentração média foi de 0,04 mg/L na foz Norte, entretanto, ocorreu que em alguns momentos este nutriente foi considerado ausente (0 mg/L) ou abaixo do LD.

Apesar de a média estar dentro do padrão estipulado pela CONAMA. A concentração máxima do fosfato dissolvido foi de 0,3 mg/L. Esta concentração está acima

do limite estabelecido pela Resolução 357 da CONAMA/05, para águas salobras, Classe 1 (Limite de PO_4^{3-} : igual ou abaixo de 0,124 mg/L).

O CV assim como no período chuvoso foi considerado muito alto com 182,22 %. Já na foz Sul, o fosfato dissolvido teve concentração média de 0,02 mg/L, com pico de 0,06 mg/L e mínima de 0,01 mg/L. no mesmo período. Neste mesmo período, o nutriente é presente durante todo o ciclo de maré e em níveis saudáveis ao meio (de acordo com a CONAMA, para águas salobras, Classe 1).

A presença constante deste nutriente reforça a idéia de que o manguezal representa a fonte principal deste, durante todo o período. O CV foi de 78,44 % na foz Sul. Reforçado com a hipótese de estar ocorrendo processos de difusão molecular no local, já que a concentração da água intersticial na foz Sul no período menos chuvoso foi de 0,7 mg/L, concentração muito superior ao encontrado nas águas superficiais.

O teste t com 0,33 é superior ao nível de significância de 0,05, indicou que os pontos Norte e Sul apresentam características semelhantes, no período menos chuvoso.

As médias de fosfato dissolvido de enchente e vazante ocorreram no período menos chuvoso sempre com maiores concentrações na vazante, onde ocorreu média na vazante, com 0,077 mg/L contra 0,008 mg/L, na foz Norte e na enchente. Na foz Sul ocorreu média de fosfato dissolvido de vazante com 0,022 mg/L contra 0,017 mg/L, na enchente.

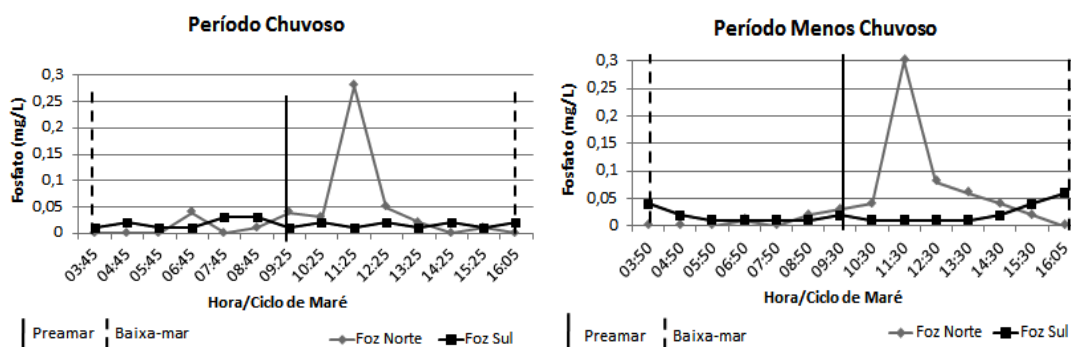


Figura 26 - Variação espaço-temporal do fosfato dissolvido nas águas estuarinas da foz Norte e foz Sul no furo da ilha de Colares.

O fosfato dissolvido apesar de ser considerado um nutriente limitante para a produção primária aparece em ambos os períodos sazonais, com comportamento semelhante.

Nota-se que na foz Norte houve pico de fosfato, tanto no período chuvoso (0,28 mg/L) como no menos chuvoso (0,3 mg/L) na mesma hora. Possivelmente este fato esteja relacionado com a presença de barcos, que nesta hora estão descarregando o pescado no mercado, sendo fonte de fosfato. A agitação das águas aumenta a mistura da água

superficial com a água intersticial que conseqüentemente disponibiliza o fosfato dissolvido.

Essas semelhanças foram confirmadas através do teste *t* com 0,11 na foz Norte e 0,47 na foz Sul, ambos os valores estão acima do nível de significância de 0,05. Este teste *t* revelou que a disponibilidade do fosfato nessas águas não está relacionada diretamente com a sazonalidade.

Viana (2006); Moura (2007) e Rosa Filho *et al.* (2013) também encontraram o fosfato dissolvido em ambos os períodos com concentrações consideráveis, todos na baía do Guajará, em Icoaraci. Viana (2006) encontrou fosfato dissolvido com concentração de 0,03 mg/L no período chuvoso e 0,01 mg/L no menos chuvoso.

Já Moura (2007) encontrou concentração de fosfato dissolvido com 0,05 mg/L até 0,21 mg/L no período chuvoso e concentração de 0,01 mg/L até 0,08 mg/L no menos chuvoso. Rosa Filho *et al.* (2013) detectaram concentração do fosfato dissolvido com 0,01 mg/L no período chuvoso e 0,04 mg/L no menos chuvoso.

Este trabalho revelou em relação ao fosfato dissolvido que a disponibilidade e distribuição estão mais ligadas a fontes próximas de MO.

7.3.2.1.5 Silicato (SiO_2)

O silicato dissolvido foi encontrado em ambos os períodos e em concentrações elevadas nas águas do furo da ilha de Colares. Na foz Norte, este nutriente teve concentração média de 16,63 mg/L no período chuvoso, com pico de 29,92 mg/L e depressão de 13,6 mg/L. O nutriente se comportou com ligeira variação no decorrer do ciclo de maré, com CV de 29,62 %. na foz Norte. Já na foz Sul, o nutriente comportou-se de forma bastante semelhante comparado com a foz Norte, no mesmo período. A sua média de concentração foi de 17 mg/L, com pico de 28,17 mg/L e depressão de 9,42 mg/L.

Este nutriente ocorreu também com ligeira variação em relação ao ciclo de maré, com CV de 34,45 %. O silicato dissolvido se comportou de uma maneira semelhante na foz Norte e Sul. Este fato foi confirmado com o resultado de 0,86 obtido pelo do teste *t*, superior ao nível de significância de 0,05.

O silicato dissolvido apresentou comportamento peculiar no período chuvoso, com concentrações maiores nas médias de enchente em ambos os pontos.

Na foz Norte, a média de silicato dissolvido na enchente foi de 18,48 mg/L contra 14,77 mg/L na vazante. Entretanto, na foz Sul a média de silicato dissolvido na enchente foi de 18,82 mg/L contra 15,19 mg/L na vazante. Este fenômeno pode estar ligado ao

processo de refluxo das águas fluviais causado na enchente pelo deslocamento de massas de águas, vindas do oceano, que podem estar contribuindo no aumento das concentrações deste nutriente nas águas do furo da ilha de Colares. O silicato dissolvido também ocorreu de forma abundante nas águas deste furo, no período menos chuvoso.

O silicato dissolvido atingiu concentração média de 14,73 mg/L; com pico de 44,1 mg/L e depressão de 4,3 mg/L, na foz Norte. Neste ponto, este nutriente teve variação considerável com CV de 78,12 %. Entretanto, na foz Sul, a concentração média foi de 20,6 mg/L, com pico de 46,06 mg/L e depressão de 10,44 mg/L. A respeito da variação do nutriente no ciclo de maré ocorreu com CV de 52,99 %.

Este nutriente comportou-se de forma semelhante tanto na foz Norte como na foz Sul, sendo confirmada com a aplicação do teste *t*, com 0,22; superior ao nível de significância de 0,05; no período menos chuvoso.

A média de silicato dissolvido de vazante foi maior com 15,33 mg/L contra 14,13 mg/L na enchente, na foz Norte. Entretanto, na foz Sul, a média na enchente foi superior com 26,96 mg/L contra 14,24 mg/L na vazante.

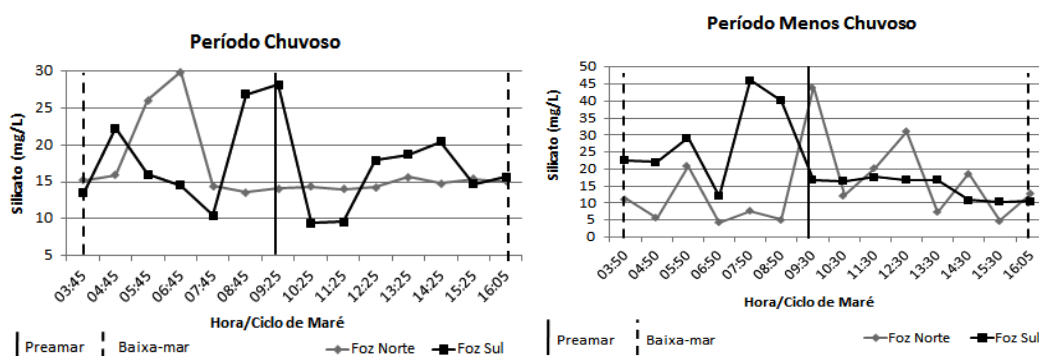


Figura 27 - Variação espaço-temporal do silicato dissolvido nas águas estuarinas da foz Norte e foz Sul no furo da ilha de Colares.

O silicato comportou-se de maneira semelhante em ambos os períodos com concentrações médias parecidas nos pontos e entre os períodos sazonais. A aplicação do teste *t* confirmou essas semelhanças com 0,6 na foz Norte e 0,2 na foz Sul, ambos superiores ao nível de significância 0,05. Este fato indica que o nutriente comportou-se de forma constante e independente da interferência sazonal.

Alves (2010) também encontrou o silicato dissolvido em ambos os períodos com comportamento simétrico, com $0,3 \mu\text{mol.L}^{-1}$ no período chuvoso e $0,4 \mu\text{mol.L}^{-1}$ no período menos chuvoso, no rio Arari (ilha do Marajó).

Monteiro (2009) identificou comportamento semelhante para o rio Paracauari (ilha do Marajó), com concentrações consideráveis em ambos os períodos. O silicato teve

máximo de 81,35 mg/L e mínimo de 36,82 mg/L, no período chuvoso. Entretanto, no período menos chuvoso o máximo foi de 42,65 mg/L e mínimo de 15,93 mg/L. Monteiro (2009) também mediu concentrações maiores de silicato na enchente, possivelmente relacionadas com a enchente, aumentando assim as concentrações do silicato no estuário.

Segundo Chester (1991), o comportamento conservativo não se explica somente pelo processo físico de mistura e de diluição, mas também porque ocorre o consumo biológico na coluna d'água que é compensado pelo fluxo, a partir do sedimento no processo de reciclagem do silicato. Alves (2010) ainda relata que o silicato dissolvido tem como fontes terrígenas, sendo o mesmo mais associado com a liberação por meio de processos de ressuspensão, por isso é abundante nos estuários marajoaras.

7.3.2.1.6 Sulfato (SO_4^{2-})

O sulfato dissolvido no período chuvoso foi detectado em baixas concentrações no furo da ilha de Colares de acordo com os padrões descritos na Resolução 357 da CONAMA/05, para água doce, Classe 1 (Limite de SO_4^{2-} : igual ou abaixo de 250 mg/L).

De acordo com Moura (2007), ecossistemas aquáticos localizados próximos ao mar apresentam o composto sulfato dissolvido em suas águas.

As águas do furo da ilha de Colares tiveram concentração média de 14,54 mg/L com pico de 23 mg/L e mínima de 7 mg/L na foz Norte. O CV foi de 32,24 %, demonstrando variação considerável deste nutriente no decorrer do ciclo de maré.

Já na foz Sul do mesmo período, a concentração média foi de 15,07 mg/L. Porém o que chamou atenção foi a concentração máxima, que foi considerada bem alta com 39 mg/L que ocorreu na baixa-mar. Este fato é relacionado com a influência da água intersticial que teve concentração de 48 mg/L (Figura 35), que possivelmente entrou em contato com as águas mais superficiais na maré baixa e/ou por difusão molecular.

A concentração mínima deste nutriente foi de 2 mg/L na foz Sul, e ocorreu com CV alta com 73,86 %, o que significa que este variou muito no decorrer do ciclo de maré. Este efeito é causado principalmente pelas mistura das águas mais superficiais com as águas intersticiais que elevam a concentração do sulfato dissolvido das águas superficiais na baixa-mar.

Apesar de que este nutriente teve comportamento um pouco diferenciado na foz Norte e Sul, houve semelhança, atestada pelo teste *t*, com 0,82; superior ao nível de significância de 0,05.

No período chuvoso as médias de concentrações de sulfato de enchente e vazante foram iguais (foz Norte) ou muito parecidas (foz Sul) (Tabela 12).

Na foz Norte, a concentração de sulfato média na enchente e vazante foram de 14,42 mg/L, entretanto, na foz Sul, foi de 15,82 mg/L na enchente e 14,28 mg/L na vazante.

Durante o período menos chuvoso, a concentração do nutriente teve aumento considerável em comparação com o período chuvoso, o que comprova ainda mais a influência do oceano sobre as águas do furo da ilha de Colares, neste período.

Na foz Norte, este nutriente teve concentrações maiores em relação à foz Sul, devido principalmente a sua maior proximidade geográfica com o oceano, com concentração média de 387,14 mg/L. A concentração máxima do sulfato foi de 450 mg/L e mínima foi de 330 mg/L, sendo estas concentrações foram consideradas altas.

O CV foi baixo com 8,62 %, que significa a permanência da penetração das águas oceânicas, que induziu o nutriente a se manter em concentrações constantes no decorrer do ciclo de maré.

Já na foz Sul, este nutriente teve concentrações consideráveis no mesmo período, média de 180,71 mg/L; máxima de 200 mg/L e mínima de 160 mg/L. Não ocorreu também com significativa variação no ciclo de maré com CV de 7,34 %. Este fato significa a permanência da penetração das águas provenientes dos oceanos na foz, mantendo as concentrações deste nutriente constante.

As concentrações de sulfato na foz Norte foram bem mais altas que aquelas encontradas na foz Sul, já demonstrando diferenças significativas na caracterização entre estes pontos. O teste *t* com valor de 0,0002 foi inferior ao nível de significância de 0,05; relatando que há grande diferença entre a foz Norte e Sul.

A respeito das médias de concentrações de sulfato entre a enchente e vazante demonstraram comportamento igual (foz Norte) e parecido (foz Sul) (Tabela 12).

Na foz Norte, a concentração de sulfato média de enchente e de vazante foram de 387,14 mg/L, entretanto, na foz Sul foi de 184 mg/L na enchente e de 177,14 mg/L na vazante. A constância das concentrações de sulfato dissolvido sugere a permanência das águas provenientes do mar.

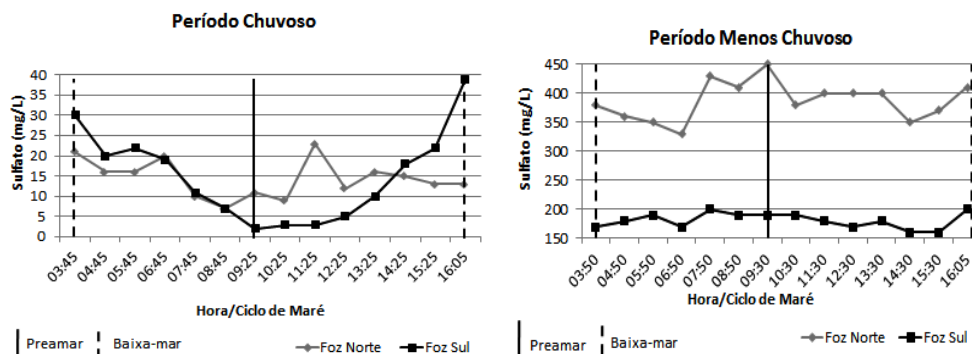


Figura 28 - Variação espaço-temporal do sulfato dissolvido nas águas estuarinas da foz Norte e foz Sul no furo da ilha de Colares.

A comparação dos níveis de concentrações do período chuvoso para o período menos chuvoso são visivelmente distintas na caracterização geral do nutriente. Essa diferença foi confirmada com o teste t com 0,007 na foz Norte e 0,003 na foz Sul, ambos abaixo do nível de significância de 0,05; indicando que a sazonalidade tem efeito direto nas concentrações deste nutriente nas águas do furo da ilha de Colares.

O sulfato tem como origem os depósitos sedimentares da plataforma continental de gipsita e anidrita (McNeely *et al.* 1979), sugerindo que no período chuvoso, com a maior vazão ocorre a diminuição da influência oceânica no estuário e assim, diluindo o sulfato dissolvido nos estuários e nas áreas de influência. O contrário ocorre com o fim do período chuvoso, o que vem aumentando e muito o sulfato dissolvido nas águas do furo da ilha de Colares, causado pela maior penetração das águas do mar no estuário.

O comportamento do sulfato nos períodos e áreas estudadas, concluiu que mesmo com o aumento da vazão do rio, ainda existem traços de influência oceânica.

Foi constatado, ainda que a água intersticial transfere o sulfato dissolvido contido nos sedimentos para as águas superficiais no momento da baixa-mar, ocorrendo assim o aumento das concentrações do nutriente, isso se evidencia principalmente na foz Sul, devido a presença de mangue.

Cordeiro (1987) encontrou traços de sulfato no período chuvoso com 10 mg/L nas águas da baía do Guajará. Entretanto, no período menos chuvoso a concentração do sulfato atingiu 130 mg/L e 502 mg/L, respectivamente na baía do Guajará e Mosqueiro, atribuindo a entrada das águas salinas, a presença deste nutriente. Ainda, segundo Moura (2007), resultados parecidos foram encontrados na baía do Guajará (Icoaraci), com 18 mg/L até 36 mg/L no período chuvoso e 11 mg/L até 140 mg/L no menos chuvoso.

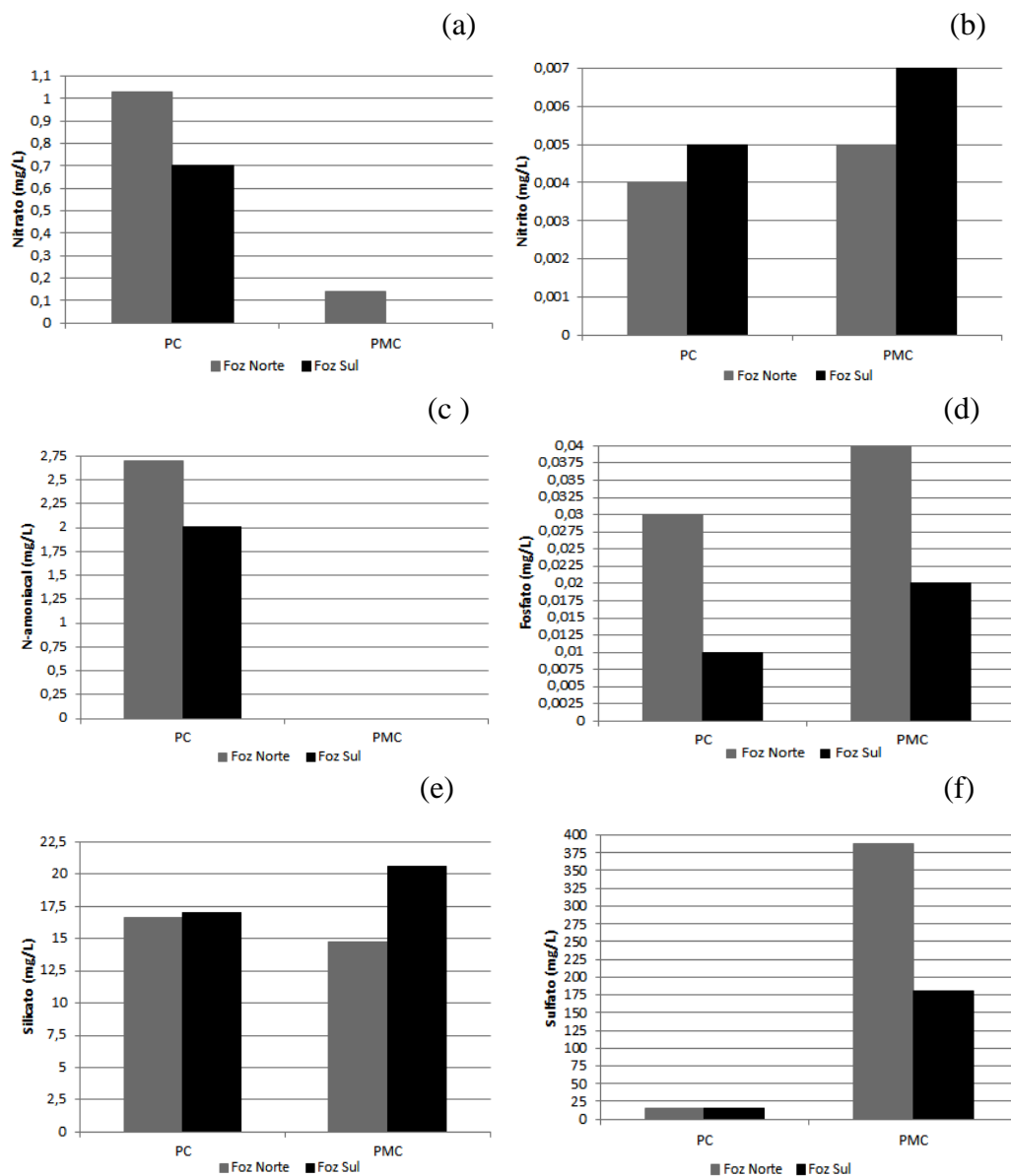


Figura 29 - (a) Médias de concentrações de nitrato dissolvido na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC) (b) médias de concentrações de nitrito dissolvido na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC) (c) médias de concentração de N-amoniaco na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC) (d) médias de concentrações de fosfato dissolvido na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC) (e) médias de concentrações de silicato dissolvido na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC) (f) médias de concentrações de sulfato dissolvido na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC).

Tabela 12 – Média dos nutrientes dissolvidos da enchente e vazante das águas superficiais da foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares durante os períodos chuvoso e menos chuvoso.

	Período Chuvoso		Período Menos Chuvoso	
	Enchente	Vazante	Enchente	Vazante
Foz Norte				
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,95	1,11	0,29	0
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,004	0,006	0,003	0,004
NH ₃ -NH ₄ ⁺ (mg/L)	2,44	3,01	0	0
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0,012	0,055	0,008	0,077
SiO ₂ (mg/L)	18,48	14,77	14,13	15,33
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	14,42	14,42	387,14	387,14
Foz Sul				
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,55	0,84	0	0
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,007	0,006	0,005	0,006
NH ₃ -NH ₄ ⁺ (mg/L)	2,04	1,9	0	0
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0,017	0,015	0,017	0,022
SiO ₂ (mg/L)	18,82	15,19	26,96	14,24
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	15,85	14,28	184,28	177,14

7.3.2.2 Nutrientes Dissolvidos na Água Intersticial

7.3.2.2.1 Nitrato (NO₃⁻)

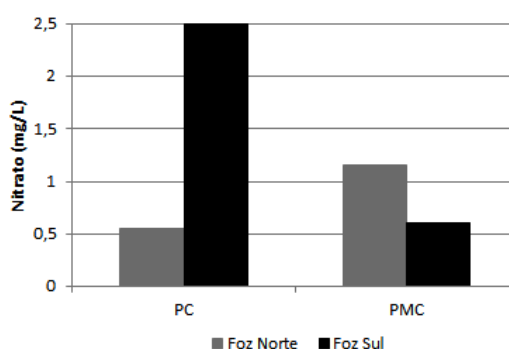


Figura 30 - Concentrações de nitrato nas águas intersticiais na foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC).

Na foz Norte, o nitrato na água intersticial ocorreu em menor concentração (0,6 mg/L) durante o período chuvoso e em maior concentração (1,2 mg/L) no menos chuvoso. Em função da maior vazão neste ponto, ocorre a diminuição do nitrato retido no sedimento.

Já na foz Sul, ocorre o contrário. Como no período chuvoso os solos de mangue se misturam com a água da chuva rica em OD, ocorre o processo de nitrificação (oxidação), aumentando assim suas concentrações nas águas intersticiais. No menos chuvoso, as concentrações do nitrato dissolvido nas águas intersticiais do mangue ficam baixas.

7.3.2.2.2 Nitrito (NO_2^-)

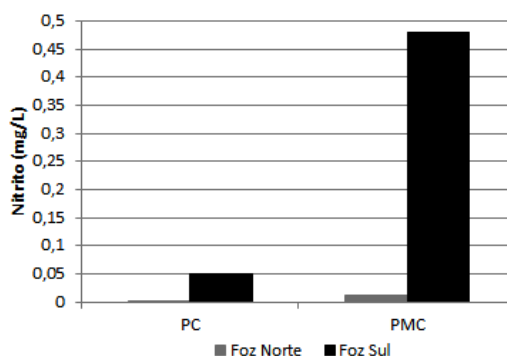


Figura 31 - Concentrações de nitrito nas águas intersticiais na foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC).

O nitrito foi maior (0,05 mg/L e 0,48 mg/L) na foz Sul em ambos os períodos, isso porque na foz Sul o mangue apresenta maior percentagem de MO (Figura 36) que é fonte de nitrito para as águas, proveniente da decomposição da MO. Já no período chuvoso, o nitrito foi detectado com proporções menores 0,001 mg/L na foz Norte e 0,05 mg/L na foz Sul, já que a chuva lixivia este nutriente para as águas mais superficiais.

7.3.2.2.3 N-amoniacoal ($\text{NH}_3 - \text{NH}_4^+$)

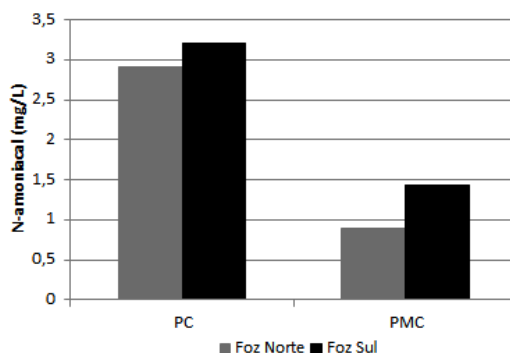


Figura 32 - Concentrações de N-amoniacoal nas águas intersticiais na foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC).

O N-amoniacoal na água intersticial aparece com maiores concentrações (2,9 mg/L e 3,2 mg/L) no período chuvoso em ambas os pontos (Foz Norte e Sul, respectivamente) e em menores concentrações no período menos chuvoso (0,9 mg/L e 1,44 mg/L na foz Norte e Sul, respectivamente). O motivo do N-amoniacoal aumentar no período chuvoso nas águas intersticiais é em função da maior dinâmica das águas somadas com as altas temperaturas

que aceleram as reações químicas de decomposição da MO, provocando o aumento da disponibilidade deste nutriente nas águas intersticiais.

7.3.2.2.4 Fosfato (PO_4^{3-})

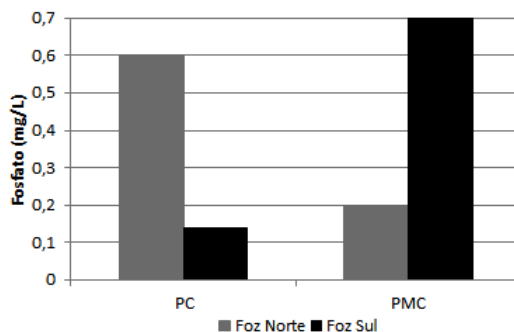


Figura 33 - Concentrações de fosfato nas águas intersticiais durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC) na foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares.

Na foz Norte, as concentrações de fosfato dissolvido ficam com níveis significativos (0,6 mg/L) durante o período chuvoso, possivelmente de origem antropogênica já que esta área é próxima do mercado de peixes no município de Vigia. Já no período menos chuvoso, ainda neste ponto, nota-se a diminuição do nutriente nas águas intersticiais, que possivelmente devem estar transferindo este nutriente para as águas mais superficiais, pois a região possui características ambientais, que possibilitam dinâmica suficiente para mobilidade do fosfato dissolvido para as águas mais superficiais.

Na foz Sul, as concentrações de fosfato dissolvido são menores (0,14 mg/L) no período chuvoso, devido a sua carga negativa do sedimento que libera com mais facilidade o nutriente para as águas, e a dinâmica das águas neste período acelera a disponibilidade do fosfato para as águas mais superficiais. Com a diminuição do índice de chuvas diminui também a dinâmica, retendo o nutriente nos solos do mangue.

A presença do fosfato dissolvido no furo da ilha de Colares em ambos os períodos são encontrados tanto nas águas superficiais como nas águas intersticiais, possivelmente relacionada com o processo de regeneração do fosfato em estuários.

7.3.2.2.5 Silicato (SiO_2)

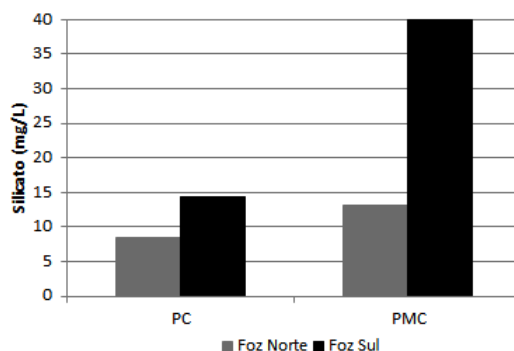


Figura 34 - Concentrações de silicato nas águas intersticiais na foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC).

Ocorreu grande diferença do silicato dissolvido em sua disponibilidade na água intersticial, na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares e nos períodos estudados. No período chuvoso, este nutriente obteve concentrações bem inferiores (8,45 mg/L e 14,25 mg/L na foz Norte e Sul, respectivamente) em relação ao período menos chuvoso (13,12 mg/L e 39,93 mg/L na foz Norte e Sul, respectivamente). Pois no período chuvoso, ocorre uma forte diluição das chuvas que transfere o silicato dissolvido para as águas superficiais.

Ainda, o mangue foi considerado fonte de silicato já que apresenta maiores concentrações nas águas intersticiais no sedimento da foz Sul (mangue).

De acordo com Mendes Filho (2009) reações intempéricas e de hidrodinâmica no mangue, além dos aportes continentais deixam as águas intersticiais mais ricas em silicatos se comparados com as concentrações encontradas na coluna d'água do estuário.

Ainda Mendes Filho (2009) relata que possivelmente esse silício reativo solúvel além da origem autóctone, tem origem no aporte continental (alóctone), explicando a abundância encontrada nas águas intersticiais e superficiais do furo da ilha de Colares.

Um das origens do silicato do sedimento seria o crescimento das diatomáceas bentônicas que quando é cessado ou reduzido, o silicato é liberado para a água intersticial (Mendes Filho 2009).

7.3.2.2.6 Sulfato (SO_4^{2-})

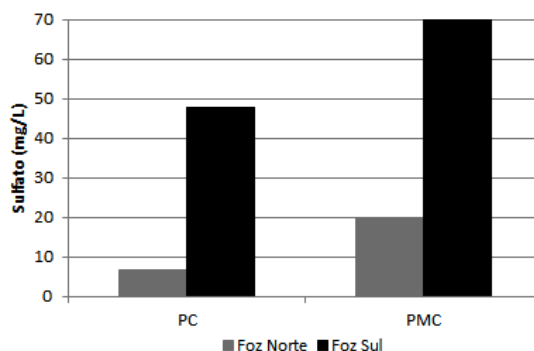


Figura 35 - Concentrações de sulfato nas águas intersticiais na foz Norte e foz Sul do furo da ilha de Colares durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC).

O sulfato dissolvido na água intersticial teve concentrações menores (7 mg e 48 mg/L na foz Norte e Sul, respectivamente) no período chuvoso e maiores (20 mg/L e 70 mg/L na foz Norte e Sul, respectivamente) no período menos chuvoso, com destaque nas concentrações na foz Sul, indicando que o mesmo é fonte de sulfato para águas mais superficiais (solo do mangue).

Na foz Sul as águas das chuvas transferem o sulfato dissolvido para as águas superficiais durante o período chuvoso, entretanto, com a queda do índice de chuvas aumenta as suas concentrações no sedimento. Já na foz Norte, no período menos chuvoso os níveis de concentrações de sulfato dissolvido nas águas intersticiais aumentam, possivelmente induzidas pelas águas mais superficiais que são mais ricas desse nutriente (difusão molecular).

7.3.2.2.7 Matéria Orgânica (MO)

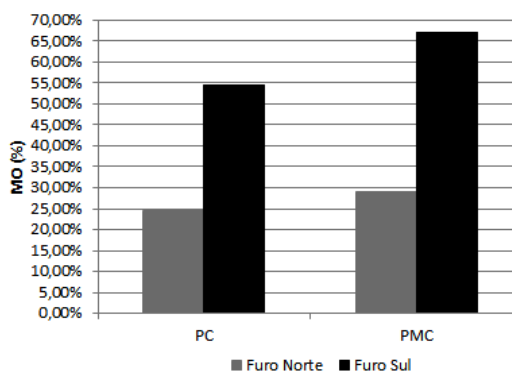


Figura 36 - Quantificação da MO nos sedimentos do furo da ilha de Colares (foz Norte e foz Sul) durante o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC).

A MO contida nos sedimentos no período menos chuvoso teve maior porcentagem em relação ao período chuvoso. Logo significa que boa parte dessa MO fica retida no período menos chuvoso, e como consequência menos nutrientes são dissolvidos neste período (Figura 36). O processo se inverte no período chuvoso, onde apesar de haver menos MO nos sedimentos, ocorre a maior concentração de nutrientes disponíveis nas águas mais superficiais. Na foz Sul, têm-se as maiores porcentagens de MO em comparação a foz Norte, o que demonstra que o manguezal é fonte de MO.

7.3.3 Correlação dos Parâmetros Abióticos

7.3.3.1 Correlação dos Parâmetros Abióticos no Período Chuvoso

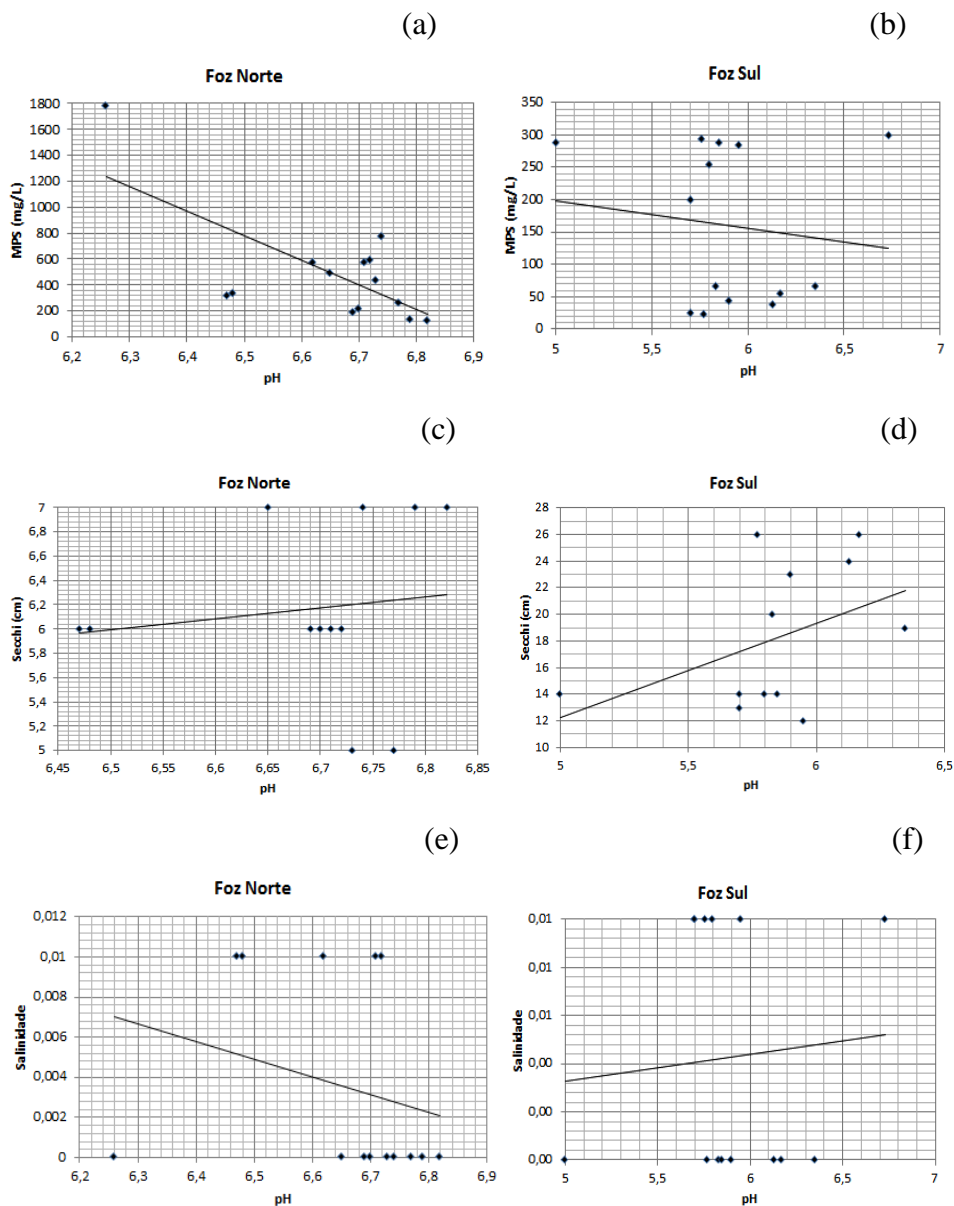


Figura 37 - Correlação dos parâmetros físicos e químicos durante o período chuvoso no furo da ilha de Colares: (a) foz Norte e (b) foz Sul negativa MPS – pH; (c) foz Norte e (d) foz Sul positiva Secchi – pH; (e) foz Norte, negativa e (f) foz Sul positiva salinidade – pH.

Os resultados do teste estatístico correlação de Spearman mostram que no período chuvoso, o MPS tem correlação negativa com o pH em ambas os pontos (Figura 37 a e b).

A diminuição do pH de acordo com o aumento das concentrações do MPS é consequência que o MPS é quimicamente composto por material do tipo complexo orgânico-mineral formado por material orgânico e argiloso, predominantemente caulínico

(Lima & Kobayashi 1988, Ribeiro & Lima 1992). Essa composição em excesso em um meio aquoso tende a diminuir o pH e o contrário tende a aumentar o pH.

Ainda no período chuvoso o pH correlacionou-se positivamente com a profundidade de Secchi em ambos os pontos (Figura 37 c e d). Com a penetração das águas marinhas no estuário tende a aumentar a transparência da água.

No período chuvoso, os parâmetros pH e salinidade apresentam correlação negativa na foz Norte (Figura 37 e). Este fato demonstra inversão do comportamento desses parâmetros; e a correlação positiva na foz Sul (Figura 37 f), não significa que esteja relacionada diretamente com a influência marinha, já que o sedimento do mangue no período tem participação no comportamento da água e pode estar influenciando no aumento do pH.

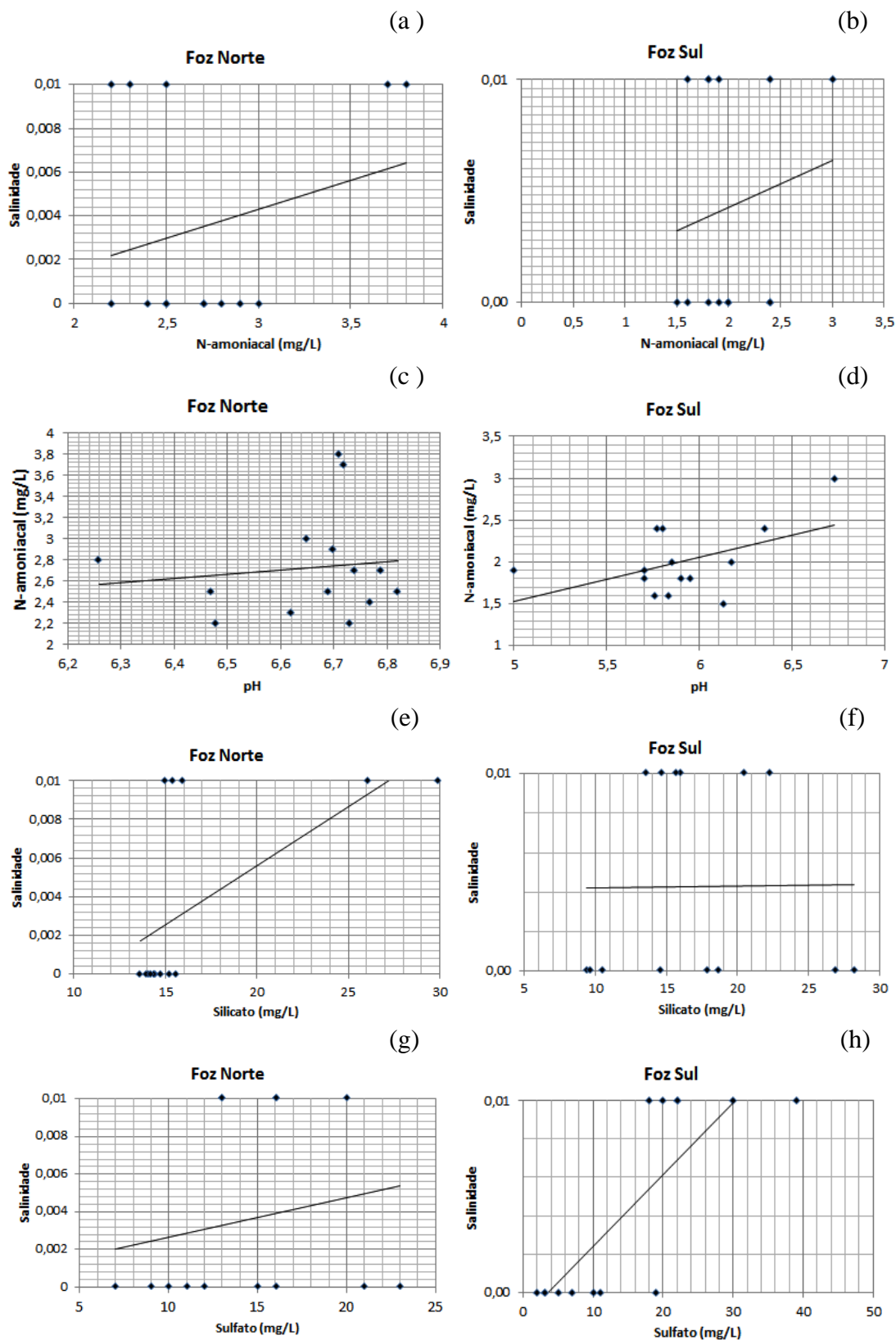


Figura 38 - Correlação dos parâmetros abióticos durante o período chuvoso no furo da ilha de Colares: (a) foz Norte e (b) foz Sul positiva salinidade – N-amoniaco; (c) foz Norte e (d) foz Sul positiva N-amoniaco – pH; (e) foz Norte e (f) foz Sul positiva salinidade – silicato; (g) foz Norte e (h) foz Sul positiva salinidade - sulfato.

Nos resultados da correlação dos parâmetros abióticos do período chuvoso a correlação foi positiva entre o N-amoniaco e salinidade na foz Norte e Sul (Figura 38 a e b). Essa correlação não significa que as águas marinhas sejam uma fonte para esse nutriente, mas sim que no momento da enchente e preamar o refluxo das águas fluviais e dinâmica causada pela soma desses eventos provocam maior mobilidade do N-amoniaco nas águas superficiais.

O pH também correlacionou-se positivamente com o N-amoniaco na foz Norte e Sul (Figura 38 c e d) demonstrando um comportamento inverso.

A figura 38 (e) e (f) apresenta as correlações positivas entre o silicato e a salinidade na foz Norte e Sul, caracterizado com comportamento inverso, porém justificável. Este pode estar ocorrendo devido ao refluxo das águas fluviais.

Já a figura 38 (g) e (h) mostra correlações positivas entre o sulfato e a salinidade, sendo este processo natural, já que as águas marinhas são ricas desse nutriente.

O refluxo pode agitar as águas para aumento da hidrodinâmica, esta que já é A dinâmica alta das águas durante o período chuvoso facilita a lixiviação dos solos que contém o sulfato dissolvido nas águas intersticiais, que junto com o refluxo na maré de enchente e preamar pode causar aumento do sulfato.

7.3.3.2 Correlação dos Parâmetros Abióticos no Período Menos Chuvoso

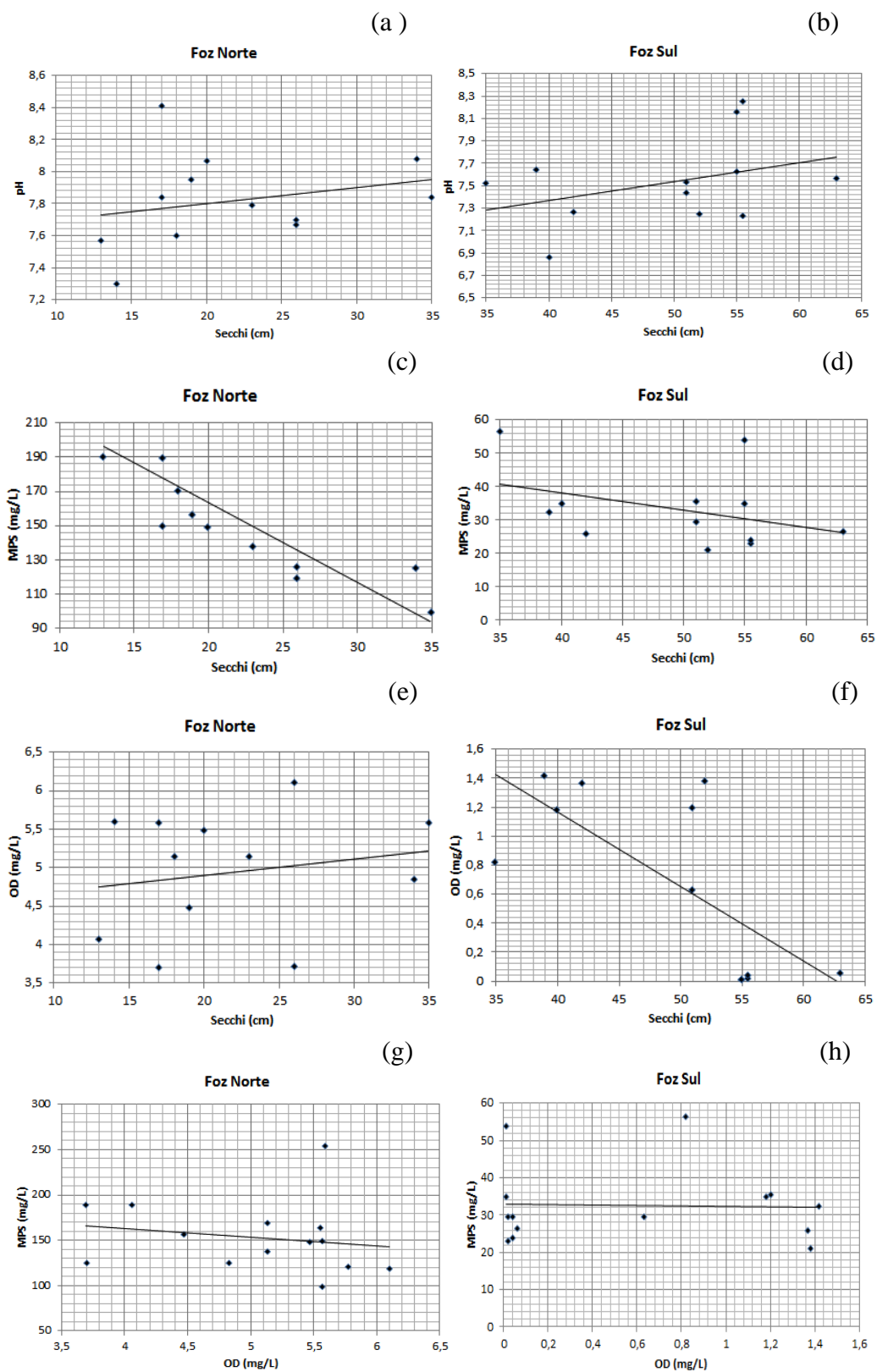


Figura 39 - Correlação dos parâmetros físicos e químicos durante o período menos chuvoso no furo da ilha de Colares: (a) foz Norte e (b) foz Sul positiva pH – Secchi, (c) foz Norte e (d) foz Sul negativa MPS – Secchi (e) foz Norte positiva e (f) foz Sul negativa OD – Secchi; (g) foz Norte e (h) foz Sul negativa MPS – OD.

No período menos chuvoso o teste estatístico mostrou que o pH e a profundidade de Secchi apresentam correlação positiva na foz Norte e Sul (Figura 39 a e b), demonstrando que a profundidade de Secchi aumenta em relação a maior penetração das águas marinhas, que são naturalmente mais claras que as dos estuários.

Já os parâmetros MPS e profundidade de Secchi mostraram correlação negativa, pois o aumento de concentrações de MPS diminui a profundidade de Secchi da água (Figura 39 c e d).

O OD pareado com a profundidade de Secchi demonstrou correlação positiva na foz Norte, podendo ou não ter relação com a atividade dos produtores primários, haja vista que o OD em maior parte tem origem atmosférica; o comportamento inverso (correlação negativa) ocorre na foz Sul (Figura 39 e e f).

O pareamento do parâmetro MPS com o OD revelou correlação negativa, já que o aumento do MPS diminui o pH, sugerindo maiores concentrações de nutrientes em seu estado dissolvido, que sequestram o OD para formarem outros compostos. Esse resultado diminui as concentrações de OD na água (Figura 39 g e h).

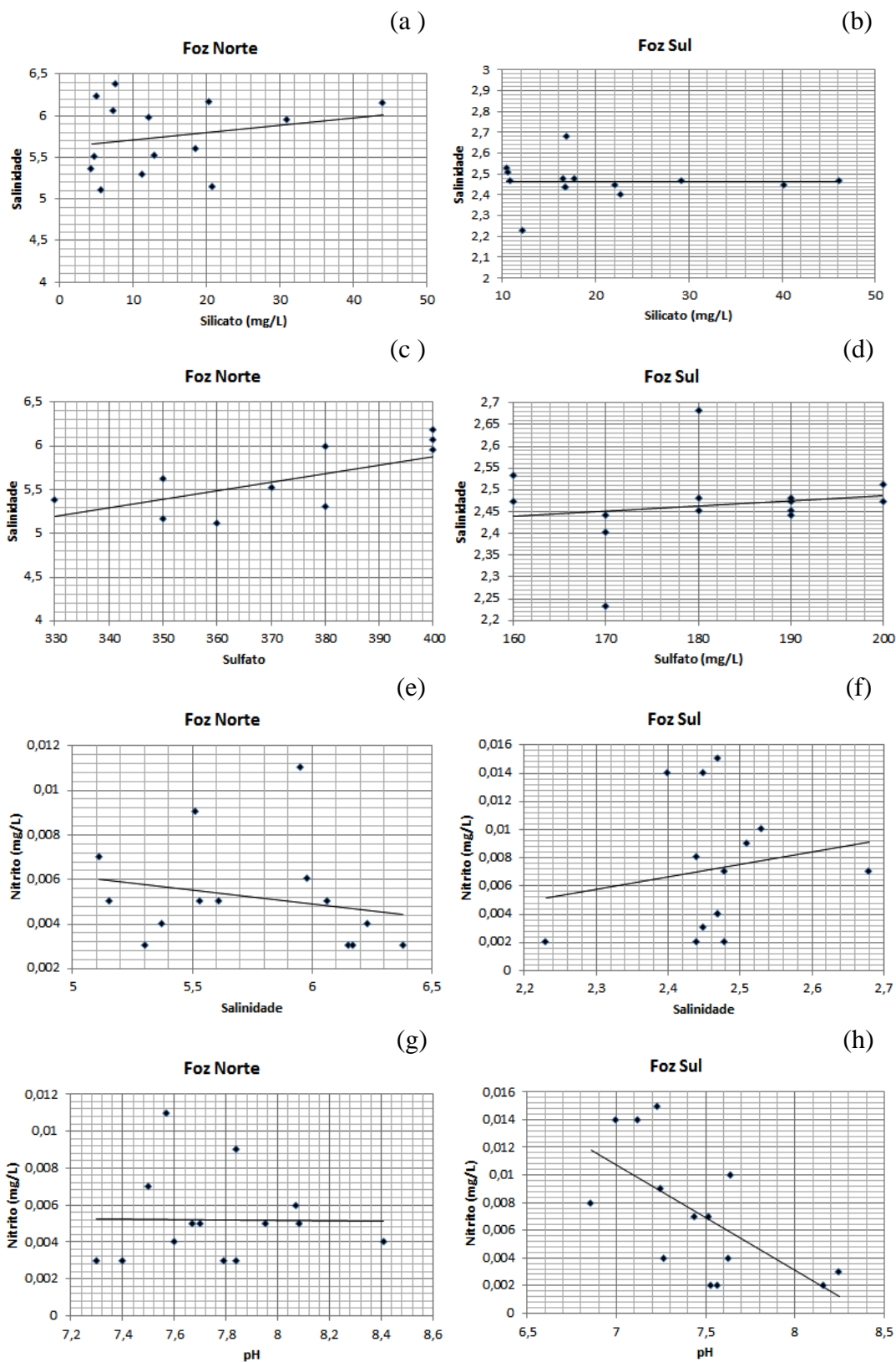


Figura 40 - Correlação dos parâmetros abióticos durante o período menos chuvoso no furo da ilha de Colares: (a) foz Norte positiva e (b) foz Sul negativa silicato – salinidade, (c) foz Norte e (d) foz Sul positiva sulfato – salinidade, (e) foz Norte negativa e (f) foz Sul positiva nitrito – salinidade; (g) foz Norte e (h) foz Sul negativa nitrito – pH.

O silicato apresentou correlação positiva na foz Norte (Figura 40a), o que já foi justificado, o aumento do silicato relacionado com a maré de enchente e preamar causado pelo refluxo e processos de ressuspensão.

O sulfato como já era esperado apresentou uma correlação positiva com a salinidade na foz Norte e Sul (Figura 40 c e d). Porém, neste período o foco principal como protagonista deste fenômeno seria relacionado com a maior penetração das águas marinhas nos estuários.

O nitrito teve relação negativa na foz Norte e positiva na foz Sul com o parâmetro salinidade (Figura 40 e e f). A correlação positiva encontrada na foz Sul pode estar relacionada com os processos de ressuspensão do sedimento somado com o refluxo, causam aumento do nitrito na maré de enchente e preamar. A respeito da correlação negativa ocorrida na foz Norte pode estar relacionada da seguinte forma: o aumento da salinidade causada pela maior penetração das águas salinas na foz pode estar diluindo o nutriente, já que as mesmas são mais pobres para este nutriente.

A figura 40 (g) e (h) mostra a correlação negativa do nitrito com o pH em ambos os pontos do furo da ilha de Colares. A diminuição do pH possibilita a redução dos compostos nitrogenados, elevando a presença do nutriente. Já o aumento do pH associado com a maior penetração das águas marinhas na foz norte e Sul, diluem o nutriente diminuindo a presença do nitrito na água. Em geral, as águas marinhas são mais pobres para este nutriente e tem poder maior de diluição.

7.3.4 Representação, Análise e Distribuição Sazonal dos Parâmetros Abióticos em Box-Wisker

7.3.4.1 Parâmetros Físicos e Químicos

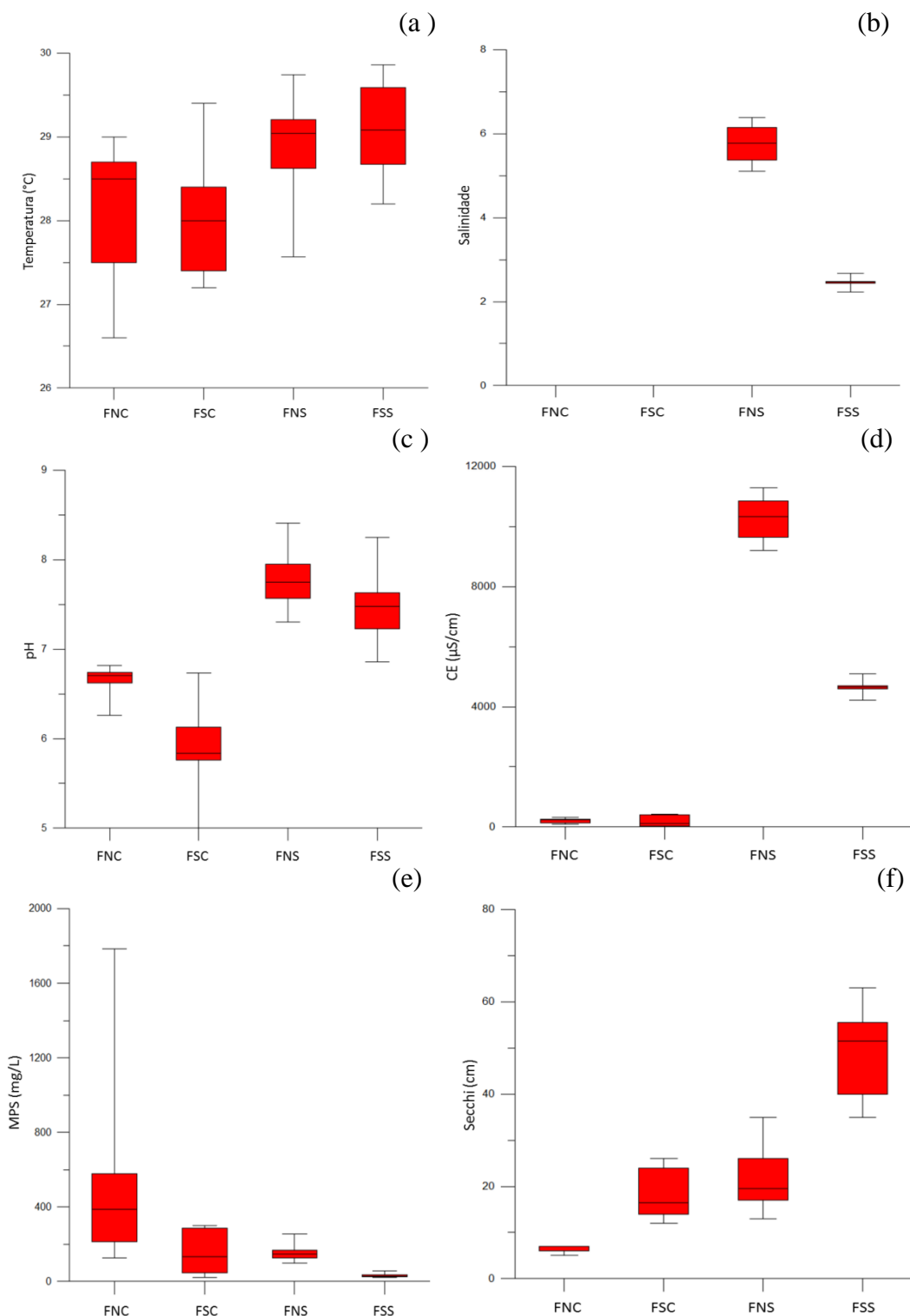


Figura 41 - Representação gráfica tipo Box Whisker representando a distribuição sazonal dos parâmetros físicos e químicos do furo da ilha de Colares: (a) temperatura, (b) salinidade, (c) pH, (d) condutividade elétrica, (e) material particulado em suspensão, (f) profundidade de Secchi na foz Norte no período chuvoso (FNC), na foz Sul no período chuvoso (FSC), na foz Norte no período menos chuvoso (FNS), e na foz Sul no período menos chuvoso (FSS).

A temperatura das águas superficiais no furo da ilha de Colares teve variação diária maior do que a sazonal (Figura 41a). Segundo Alves *et al.* (2012) este comportamento é normal e característico de ambientes amazônicos.

A figura 41a mostra que no período chuvoso mostra menores temperaturas da água, causadas principalmente pela grande quantidade de nuvens, que permanecem durante o dia todo. Ainda, a diminuição da temperatura é devido a mistura das águas da chuva (T° mais baixas) com as águas superficiais do furo. O aumento da temperatura da água no período menos chuvoso é decorrente da maior exposição à incidência solar.

A salinidade das águas demonstra a diferença sazonal no furo da ilha de Colares (Figura 41b), onde ocorre a quase ausência de salinidade no período chuvoso (água doce) sob domínio fluvial e aumento deste parâmetro no período menos chuvoso (água salobra) sob influência marinha. A salinidade do FNS é superior ao FSS, devido a sua maior proximidade com o mar (Figura 41b). A CE coincide com a salinidade (Figura 41d).

O pH demonstra a variação sazonal, com menores valores no período chuvoso, influenciados pela águas fluviais e maiores no menos chuvoso, influenciados pela mistura da água fluvial com a água marinha (Figura 41c). O pH sempre é menor no FS, influenciado pela MO do sedimento do mangue. Os valores maiores do pH no FN também é em função da maior proximidade do oceano (Figura 41c).

A figura 41e indica a variação sazonal, onde no período chuvoso o MPS é encontrado em maiores concentrações, influenciadas pela maior hidrodinâmica e aumento da intensidade da lixiviação. No período menos chuvoso, a diminuição este processos provocam a diminuem do aporte de MPS para o furo da ilha de Colares. O FN mostra concentrações de MPS maiores, isso porque o ponto apresenta condições ambientais (vento, corrente e relevo) favoráveis a maior turbulência e hidrodinâmica. Em compensação a profundidade de Secchi é sempre maior no FS (Figura 41f) e coincide em proporções inversas com o MPS (Figura 41f).

7.3.4.2 Nutrientes Dissolvidos

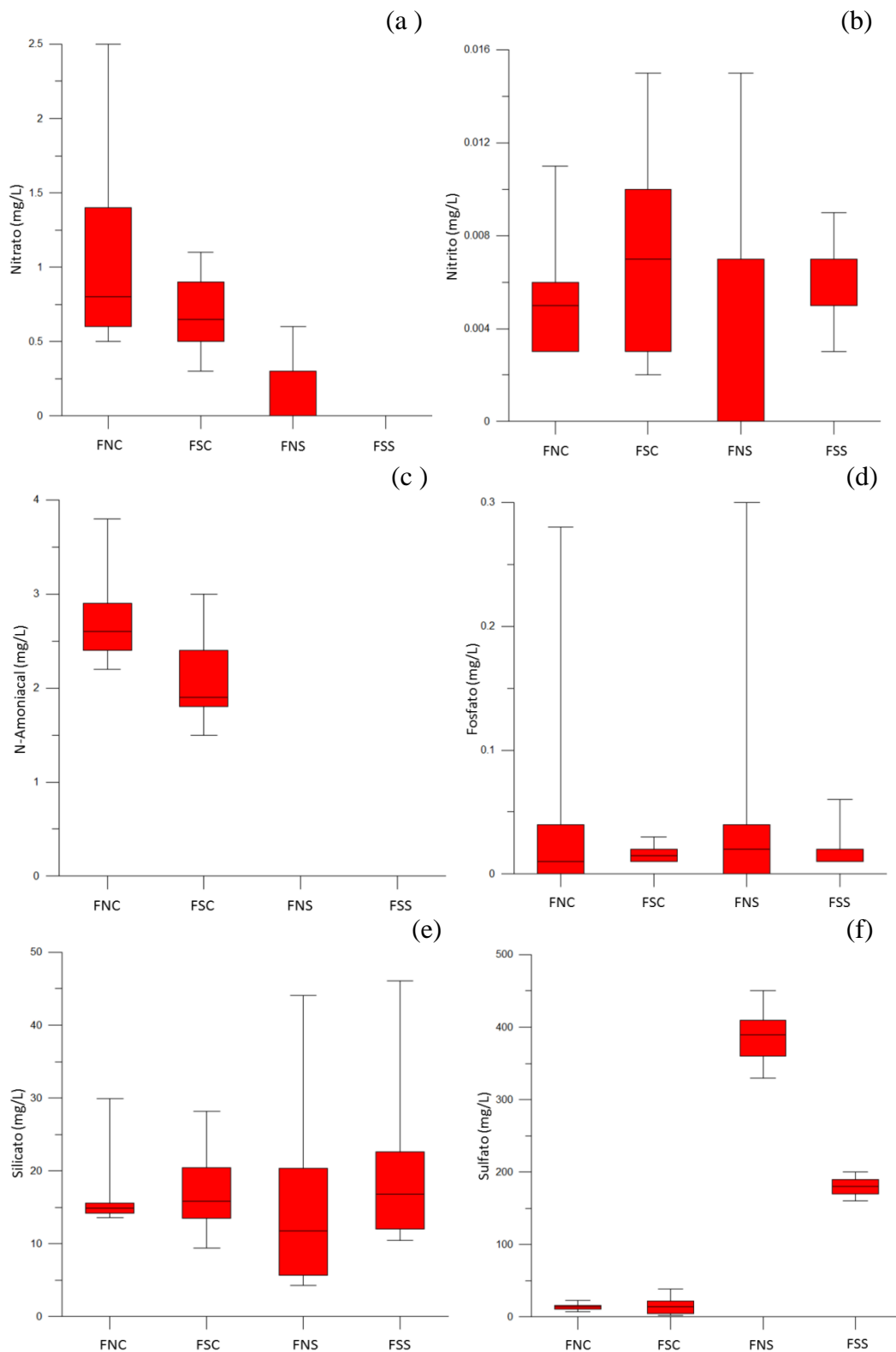


Figura 42 - Representação gráfica do tipo Box Whisker representando a distribuição sazonal dos nutrientes dissolvidos do furo da ilha de Colares: (a) nitrato, (b) nitrito, (c) N-amóniacal, (d) fosfato, (e) silicato, (f) sulfato na foz Norte no período chuvoso (FNC), na foz Sul no período chuvoso (FSC), na foz Norte no período menos chuvoso (FNS), e na foz Sul no período menos chuvoso (FSS).

A figura 42a mostra a influência sazonal do nitrato com maiores concentrações no período chuvoso. Este nutriente está sempre em maiores concentrações no FN, possivelmente influenciado pela atividade antropogênica no local.

O nitrito, o fosfato e o silicato dissolvidos (Figura 42b, 42d e 42e) não sofreram influência sazonal, estando sempre presente no sistema.

Já o N-amoniacoal e o sulfato dissolvidos foram os nutriente que mais sofreram influência sazonal. O N-amoniacoal em maiores concentrações no período chuvoso são influenciados pela forte vazão dos rios (lixiviação). O sulfato apresenta maiores concentrações no período menos chuvoso devido a maior penetração das águas marinhas na baía do Marajó.

8 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados relatam sobre a influência da sazonalidade no furo da ilha de Colares e suas características descritas em cada período sazonal (períodos chuvoso e menos chuvoso).

O furo da ilha de Colares é banhado por águas estuarinas quentes nos dois períodos distintos, já que a maior parte do tempo, ficam com T° superiores a 27 °C. Esta característica induzida pela sua absorção da radiação durante o ano todo, devido sua proximidade com a linha do equador.

A salinidade aponta migração das zonas estuarinas, com águas fluviais (água doce) sob influência de maré no período chuvoso na foz Norte e Sul, e como parte superior na foz Sul e parte inferior na foz Norte no período menos chuvoso (água salobra).

Ainda, de acordo com a salinidade, a foz Norte e Sul foram classificadas como água doce em ambos os pontos no período chuvoso e como águas oligohalinas na foz Sul e mesohalinas na foz Norte, no período menos chuvoso.

O pH, chamou a atenção em especial na foz Sul durante o período chuvoso, pois este parâmetro encontrou-se abaixo do descrito pela Resolução 357 da CONAMA/05, com fonte / origem possivelmente relacionado a presença do manguezal.

Os resultados do MPS demonstram caráter de águas brancas do furo com altas concentrações de MPS permanentemente no estuário nos dois períodos (chuvoso e menos chuvoso).

O OD nas águas do furo da ilha de Colares foi encontrado com diferenças na foz Norte e Sul, confirmando a influência da atmosfera. A foz Norte é largamente aberta, logo mais exposta aos ventos, onde as concentrações são consideravelmente superiores em relação à foz Sul (área protegida, com presença de manguezal).

Os parâmetros físicos e químicos não mostraram diferenças significativas na foz Norte e Sul durante o período chuvoso. Já no período menos chuvoso, as águas na foz Norte sofreram alterações significativas, devido ao contato e mistura com as águas oceânicas que penetram na baía do Marajó.

A sazonalidade interfere diretamente na disponibilidade dos nutrientes dissolvidos nas águas do furo da ilha de Colares, atestando que o maior IP disponibiliza mais nutrientes nas águas no período chuvoso, causado principalmente pela lixiviação do manguezal, alagamento dos entornos da ilha (foz Norte e Sul). Com a diminuição do IP, os

nutrientes dissolvidos ficam menos disponíveis, atribuindo ao IP um papel fundamental na disponibilidade e distribuição dos nutrientes no furo da ilha de Colares.

Os nutrientes dissolvidos, quanto a sua disponibilidade no período chuvoso, a foz Norte e Sul apresenta a mesma condições. No período menos chuvoso, apesar de algumas diferenças, as águas foram consideradas também semelhantes.

O nitrato foi considerado como abundante no período chuvoso, e com a mudança sazonal, muda seu comportamento, sendo pouco presente na foz Norte e ausente na foz Sul durante o período menos chuvoso. Apesar da pouca presença do nitrato na foz Norte no período menos chuvoso, o nutriente teve concentrações acima do limite descrito pela CONAMA. A presença antropogênica do município de Vigia exerce forte influência nas águas da foz Norte / rio Guajará-mirim.

O N-amoniaco foi considerado abundante nas águas do furo da ilha de Colares no período chuvoso, sendo relacionando com o maior IP do período. Porém, na foz Norte teve concentração acentuada, possivelmente influenciado pela atividade antropogênica próximo.

O N-amoniaco foi ausente na foz Norte e Sul do furo da ilha de Colares, devido a influência do IP.

O nitrito, fosfato, sulfato e silicato não foram considerados limitantes para a produção primária em nenhum dos períodos. Ainda sobre o comportamento sazonal do nitrito e fosfato foram presentes na foz Norte e Sul, e sazonalmente. Este fato demonstra que o furo da ilha de Colares localiza-se próximo a fontes de MO em decomposição: foz Norte sob influência antropogênica e foz Sul sob influência dos derivados do manguezal.

O manguezal (foz Sul) é fonte de nutrientes dissolvidos, de MO, e com destaque o sulfato, silicato nitrito, fosfato e N-amoniaco, que foram encontrados com concentrações consideráveis nas águas intersticiais.

A origem do sulfato tem participação do oceano, já que as suas concentrações elevaram-se (período menos chuvoso) e por serem mais concentradas na estação mais próxima ao oceano (foz Norte).

A comparação estatística confirmou diferenças entre os períodos chuvoso e menos chuvoso, demonstrando a forte influência da descarga fluvial, turbulência, precipitação, marés dinâmicas, transferência e misturas das águas intersticiais com as águas mais superficiais nos processos que ocorrem no furo de Colares.

REFERÊNCIAS

- Aminot, A. & Chaussepied, M. 1983. *Manuel des analyses chimiques em milieu marin*. Cnexo, Brest, France, 34,44,84p.
- Alves, I. C. C. 2010. *Hidrologia e Biomassa Fitoplanctônica do Sistema Flúvio-Estuarino do Rio Arari (Ilha do Marajó-Pa)*. Dissertação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 37-38, 41, 44, 51-52, 79 p.
- Alves, I. C. C.; El-Robrini, M. Santos, M. L.S.; Monteiro, S. M.; Barbosa, L. P.; Guimarães, J. T. F. 2012. Qualidade das Águas Superficiais e Avaliação do Estado Trofíco do Rio Arari (Ilha do Marajó, Norte do Brasil). *Acta Amazonica*, **42**(1)115-124.
- Azevedo, A. C. G.; Feitosa F. A. N.; Koenig, M. L. 2008. Distribuição Espacial e Temporal da Biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais no Golfão Maranhense, Brasília. *Acta botanica Brasilica*, **22**(3):870-877.
- Barbosa, E. J. S. 2007. *Unidades de Relevô em Zona Costeira Estuarina Municípios de Colares e Santo Antônio do Tauá (PA)*. Dissertação, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém, 39-45p.
- Barcellos, R. L.; Berbel, G. B. B.; Braga, E. S.; Furtado, V. V. 2003. Distribuição e características do fósforo sedimentar no sistema estuarino lagunar de Cananéia – Iguape. In: 4º Congresso Brasileiro de Geoquímica. *Livro de resumos expandidos*, Belém, p. 502-504.
- Baumgarten, M. G. Z.; Rocha, J. M. B.; Niencheski, L. F. H. 1996. *Manual de análises em oceanografia química*. Rio Grande, Editora da FURG, 33, 66, 142, 150 p.
- Baumgarten, M. G. Z.; Niencheski, L. F. H.; Veeck, L. 2001. Nutrientes na coluna da água e na água intersticial de sedimentos de uma enseada estuarina com aportes de origem antrópica (rs-brasil). *Atlântica Rio Grande*, **23**:101-116.
- Bendschneider, K.; Robinson, R.J. 1952. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in seawater. *Journal Marine Research*, New Haven, **11** (1): 87-96.

Bradley, E. & Philip, B. 1999. A comparative study of nutrient behavior along the salinity gradient of tropical and temperate estuaries. *Estuaries*, **22** (2A): 313-326.

Brown, J., Colling, A., Park, D., Phillips, J., Rothery, D., Wright, J. 1989. Ocean Chemistry and Deep-Sea Sediments. *Open University Course Team, in the Open University*, p.7-60.

Cardoso, F. F. 2009. *Dinâmica da Comunidade Microfitoplanctônica Relacionada com os Parâmetros Físico Químicos do Estuário do Rio Guajará-Mirim (Vigia-Pa)*. Dissertação, Instituto de Ciência Biológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, 22, 32-33 p.

Cartaxana, P.; Lloyd, D. 1999. N₂, N₂O and O₂ profiles in a Tagus Estuary salt marsh. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **48**: 751-756.

Chester, R. 1991. *Marine Geochemistry*. Cambridge University Press. 666, 943 p.

Chester, R.; Riley, J.O. *Introducción a la química marina*. 1989. Editora A.G.T. Editor, S.A, México, 1 ed. London, Unwin Hyman, 457p.

Conselho Nacional de Meio Ambiente - Conama. 2013. Resolução Conama nº 357. Disponível em: <www.mma.conama.gov.br/conama>. Acesso em: out. 2013.

Cordeiro, C. A. 1987. *Estudo da Salinização no Estuário do Rio Pará no Trecho Belém-Mosqueiro*. Dissertação, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 109 p.

Cohen, J.C.P., M.A.F. Silva Dias e C.A. Nobre, 1989. Aspectos Climatológicos das Linhas de Instabilidade na Amazônia. *Climanálise, Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, vol.4 , p. 34-40.

Comissão Interministerial para os recursos do mar – SecirmE, 1989. Leplac – Pará. Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/dhn/ass_leplac.html>. Acesso em: out. 2013.

Cunha, H. B. Pascoaloto, D. 2006. *Hidroquímica dos Rios da Amazônia*. Manaus, Governo do Estado do Amazonas, Secretaria de Estado da Cultura, 127 p.

Dalrymple R.W.; Zaitlin B.A., Boyd R. 1992. Estuarine Facies Models: Conceptual Basis and Stratigraphic Implications. *Journal Sedimentology and Petrology*, **62**(6): 1130-1146.

Dyer, K. R. 1997. *Estuaries - A Physical Introduction*. 2° ed. West Sussex, John Wiley & Sons Ltd. EEA (European Environment Agency), Integrated environmental assessment of coastal zones, 44 p.

Eby, L. A.; Crowder, L. B; McClellan C .M.; Peterson C. H.; Powers M. J. 2005. Habitat degradation from intermittent hypoxia: impacts on demersal fishes. *Marine Ecology Progress Series*, **291**:249-61.

Elliott, M. & Mcluskay, D. S. 2002. The need for definitions in understanding estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, London, **55**: 815-827.

Eschrique, S. A.; Coelho, L. H.; Oliveira, E. N.; Braga, E. S. 2011. Qualidade da Água como Ferramenta na Gestão Ambiental de Estuários – Exemplo do Litoral Sul de São Paulo. *5° Simpósio Brasileiro de Oceanografia*. Santos. São Paulo.

Esteves, F. A. 1998. *Fundamentos da Limnologia*. Editora Interciência/FINEP, Rio de Janeiro, 2° ed. 88, 97-99, 223, 227, 231, 255-156, 260, 602 p.

Fairbridge, R. W. 1981. The Estuary: its Identification and Geodynamic Cycle. In: olausson, e, cato, 1 Edição, *Chemistry and Biochemistry of Estuaries*. N.York, Wiley, p. 1-36.

Feitosa, F.A.N.; Silva-Cunha, M.G.G.; Passavante, J.Z.O.; Neumann-Leitão, S. & Lins, I.A. 1999. Estrutura do microfitoplâncton no sistema estuarino do rio Goiana, Pernambuco, Brasil. *Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco*, p. 27, 15-25.

Geyer, W.R. 1997. Influence of Wind on Dynamics and Flushing of Shallow Estuaries. *Estuarine Coastal Shelf Science*, **44**: 713-722.

Gibbs, R. J. 1967. Geochemistry of Amazon river system, Part I. The factors that control the salinity and lids. *Geological Society of American Bulletin*, **78**: 1203-1232.

GOVERNO DO PARÁ. Conheça o Pará - Vigia. Belém, 2005. Disponível em: <www.governodopara.pa.gov.br/conhecaopara/vigia.asp>.

Hayes, M.O.1975. Morphology of sand accumulation in estuaries. *In*: L.E. Cronin (Ed), *Estuarine Research*, Academic Press, New York, vol. 2, p. 3-22,1975.

Honorato da Silva, M; Passavante, J.Z.O.; Silva-Cunha, M.G.G.; Nascimento Vieira, D.A.; Grego, C.K.S. & Muniz, K. 2004. Distribuição espacial e sazonal da biomassa fitoplanctônica e dos parâmetros hidrológicos do estuário do rio Formoso (Rio Formoso, Pernambuco, Brasil). *Tropical Oceanography*, **32**: 89-106.

Horbe, A. M. C.; Gomes, I. L. F.; Miranda, S. F.; Smith, M. S. R. 2005. Contrinution to the hydrochemistry of drainages in the municipality of Manaus-AM. *Acta Amazonica*, **35**:119-124.

Horbe, A. M. C.; Queiroz, M. M. A.; Seyler, P.; Moura, C. V. 2009. Hydrochemistry of the Solimões River in the region between Manacapuru and Alvarães Amazonas Brazil. *Acta Amazonica*, **39**:941-950.

Instituto Nacional de Meteorologia – Inmet. 2013. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: jan.2014.

Junk, W. J. 1983. *As Águas da Região Amazônica*. *In*: Salati, E. *et al.* Amazônia. desenvolvimento, integracao e ecologia. Sao Paulo, *Brasiliense*, **7**:397-431.

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. p. 44.

Kjerve, B. 1987. Estuarine geomorfology and physical oceanography. *In: Day Jr., J. W., C. H. A. S. Hall, Kemp W. M. & Yanez-Aranciba, A. (eds.). Estuarine Ecology*. New York, Wiley, p. 47-48.

Koroleff, K. 1969. Determination of phosphorus. *In: Grasshoff, K.; Erhardt, M. & Kremling, K. (eds.) Methods of seawater analysis*. 2 edition. Verlag Chemie, Weinheim, p. 125-139.

Kousky, V. E. 1980. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*. United States of America, **108** (4): 488-498.

Kralik, M. 1999. A rapid procedure for environmental sampling and evaluation of polluted sediments. *Applied Geochemistry*, **14**: 807-816.

Libes, S. M. 1992. *An introduction to marine biogeochemistry*. New York, John Wiley & Sons, 661-666, 689, 700, 709-734 p.

Lima, W. N. & Kobayashi, C. N. 1988. Sobre o químismo predominante nas águas do sistema fluvio-estuarino de Barcarena, pa. *Geochimica Brasiliensis*, **2** (1): 53-71.

Lima, R. R.; Tourinho, M. M.; Costa, J. P. C. 2000. *Várzeas flúvio-marinhas da Amazônia Brasileira: características e possibilidades agrícolas*. Belém, FCAP. p. 108.

Lira, S. R. B.; Ribeiro, I. S.; Branco, J. L. M.; Marques, J. A. A.; Torres, M.A. S. F.; Piedade, S. C. M. 1989. *A pesca no Pará: a sócio-economia da fauna acompanhante do camarão na Costa Norte do Brasil e a comercialização da pesca artesanal em Belém, Vigia e Bragança*. Belém, IDESP. 116-117 p.

Lopes, C.L., Silva, P.A., Dias, J.M., Rocha A., Picado A., Plecha S., Fortunato A.B. 2011. Local sea level change scenarios for the end of the 21st century and potential physical impacts in the lower Ria de Aveiro (Portugal). *Continental Shelf Research*, **31**: 1515-1526.

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*, **39**(2): 164-185.

Manderson, J. P.; Pessutti, J. Meise, C.; Johnson, D.; Shaheen, P. 2003. Winter flounder settlement dynamics and the modification of settlement patterns by post-settlement processes in a NW Atlantic estuary. *Marine Ecology Progress Series*, **253**:253-67.

Manderson, J.P.; Pessutti, J.; Hilbert, J. G.; Juanes, F. 2004. Shallow water predation risk for a juvenile flatfish (winter flounder; *Pseudopleuronectes americanus*, Walbaum) in a northwest Atlantic estuary. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **304**:137-57.

Marinha do Brasil. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/>>. Acesso em: jan. 2014.

McCarthy, J. J.; Goldman, J. C. (1979). Nitrogenous nutrition of marine phytoplankton in nutrient-depleted, *waters Science*, **203**:670-672.

Mcneely, R. N., Neimanis, V. P. e Dwyer, L. 1979 . *A Guide to Water Quality Parameters*. Water Quality Soucerbook, Ottawa, *In*: land Water Directorate, Water Quality Branch, p. 89.

Mekong River Commission - MRC. 2005. *Overview of the hydrology of the Mekong Basin*.

Melack, J.M. & Fisher, T.R. 1983. Diel oxigen variations and their ecological implications in Amazon floodplain Lakes. *Archiv Hydrobiology*, **98**: 422-442p.

Melo, O. T. 1998. *Comportamento biogeoquímico de nutrientes no estuário do Rio Bacanga - Ilha de São Luís*. Dissertação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 118 p.

Melo, O. T. 2002. *Dinâmica de Nutrientes e da Matéria Orgânica no Manguezal do Igarapé Nunca Mais – Ilha de São Luís – MA*. Tese, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 43p.

Mendes Filho, N. E. 2009. *Caracterização Química da Matéria Orgânica nos Sedimentos do Solo do Manguezal e Dinâmica de Nutrientes nas Águas Superficiais e Intersticiais no Médio Estuário do Rio Paciência em Iguaiá – Paço do Lumiar (MA)*. Tese, Instituto de Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 69-70, 93-95 p.

Miranda, L. B. & Castro, B. M. B. 2002. *Princípios de Oceanografia Física de Estuários*. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 400p.

Monteiro, M. C.; Pereira, L. C. C.; Guimarães, D. O.; Costa; R. M.; Vieira S. R. S.; Filho, P. W. M. S. 2008. *Aspectos físico-químicos, microbiológicos e hidrodinâmicos do estuário do Caeté, Bragança-Pa*. Associação Brasileira de Estudos do Quaternário.

Monteiro, S. M. 2009. *Dinâmica dos Parâmetros Abióticos na Zona de Mistura do Estuário do Rio Paracauari, Ilha do Marajó*. Dissertação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 90-92, 99-102, 134 p.

Moura, E. M. 2007. *Mapeamento do Halo de Dispersão formado por efluentes Industriais Lançados na Baía do Guajará no trecho Compreendido entre Bairro de val-de-Cães e o Distrito de Icoaraci*. Dissertação, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 43 p.

Mota, S. 2003 *Introdução à engenharia ambiental*. 3° ed. Rio de Janeiro: ABES.

Muller, U. 1977. *Stoffhaushalt, Phytoplankton und Primarproduktion in drei ostholsteinnischer Seen unterschiedlichen Trophiegrades*. Germany University, Kiel. 227 p.

Mullin, J. B.; Riley, J. P. 1955. The spectrophotometric determination of silicate-silicon in natural waters with special reference to sea water. *Analytica Chimica Acta*, **12**: 162–170.

Murphy, J., Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, **27**: 31-36.

Nordstrom, K. F. 1992. Estuarine beaches: an introduction to the physical and human factors affecting use and management of beaches in estuaries, lagoons, bays and fjords. *Elsevier Applied Science*, London, New York.

Nybakken, J. W. 1997. *Marine biology. an ecological approach*. 4. ed. Oxford, Addison-Wesley, 481p.

Paling, E.; McComb, A. J. 1994. Cyanobacterial mats: A possible nitrogen source for arid-coast mangroves. *International Journal Ecology Environmental Science*, **40**: 47-54.

Pattinson, S.N.; García-Ruiz, R.; Whitton, B.A. 1998. Spatial and seasonal variation in denitrification in the Swale- Ouse system, a river continuum. *The Science of Total Environment*, **210/211**: 289-305.

Paytan, A. and McLaughlin, K. 2007. The Oceanic Phosphorus Cycle. *Chemical Reviews*, **107**: 563–576.

Pereira, R. C., Soares-Gomes, A (orgs.). 2002. *Biologia Marinha*. Rio de Janeiro, Interciência.

Pina-Ochoa, E. & Alvarez-Cobelas, E.M. 2006. Denitrification in aquatic environments: a cross-system Analysis. *Biogeochemistry*, **81**: 111–130.

Pinheiro, R.V.L. 1987. *Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do Estuário Guajará - Belém (PA)*. Dissertação, Instituto de Geociências , Universidade Federal do Pará, Belém, 163 p.

Preisendorfer, R. W. 1986. Secchi disk Science: visual optics of natural Waters. *Limnology Oceanography*, **31**:909-926.

Pritchard, D. W. 1952. Salinity Distribution and circulation in the Chesapeake Bay Estuarine System. *Journal Marine Research*, **11** (1): 106-123.

Pritchard, D. W. 1967. What Is An Estuary: Physical View point. In: Estuaries. G. H. Lauff (ed). *American Association for the advancement of Science*, N° 83, Whashington. D.C.

Protazio, L.; Tanaka, S.M.C.N.; Cavalcante, P.R.S. 2004. Avaliação de procedimentos de extração sequencial de fósforo em sedimento. *Revista Analytica*, **8**:35–41.

Ramos, C. A. R. 2007. *Qualidade Ambiental, Distribuição e Densidade do Mesoplâncton do Estuário de Guajará-Mirim, Vigia de Nazaré, NE do Estado do Pará*. Dissertação, Núcleo de Ciências Agrárias e Desenvolvimento Rural, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 36, 57, 60, 63 p.

Reboita, M.; Gan, M., Rocha, R., Ambrizzi, T. 2010. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **25**: 185-204.

Ribeiro, H. M. C. & Lima, W. M. de. 1992. Caracterização químico mineralógico do sedimento de fundo (Utinga, Belém – PA). In: 32 Congresso Brasileiro de Química. Belém, Anais. Rio de Janeiro, *Associação Brasileira de Química*, v.1, p.41-42; v. 4, p. 25-31.

Rivera, M. V. H; Tuwillely, R. R; Boustany, R. G; Day, J. W. V.; Herrera, F.; Del Carmen, R. M. 1996. Direct denitrification in mangrove sediments in Terminus Lagoon, Mexico. *Marine Ecology Progress Series*, **126**: 97-109, 1996.

Rocha, J. C.; Rosa. A. H.; Cardoso. A. A. 2004. *Introdução à química ambiental*. 1 edição, São Paulo, Bookman.

Rodrigues, T.L. das N.; Araújo, C.C. de; Camozzato, E.; Ramgrab, G. E. *Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil: São Luís*. 1994. Folha SA.23-Z-A. Cururupu. Folha SA.23-X-C. Estado do Maranhão. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM. p. 3-106.

Rosa Filho, J. S. and Aviz, D. Macrobenthic communities of an amazonian estuary (guajará bay, brazil): temporal and spatial changes. 2005. In: Conley, D.C., Masselink, G., Russell, P.E. and O'Hare, T.J. (eds.), *Proceedings 12th International Coastal Symposium* (Plymouth, England), *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. **65**: 123-128, ISSN 0749-0208 2013.

Sá, J.H.S. 1969. Contribuição aos Sedimentos Terciários e Quaternários da Região Bragantina. *Boletim do Instituto Geológico*, Rio de Janeiro, **3**:21-36.

Santos, M. T. P. 1997. *Avaliação Ambiental da Matéria Orgânica Degrada nos Canais de Drenagem na Região Metropolitana de Belém (Pará)*. Dissertação, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém . 118 p.

Schmiegelow, J. M. M. 2004. *O Planeta Azul, Uma Introdução às Ciências Marinhas*. Editora Interciência. Rio de Janeiro.

Selleslagh, J.; Amara, R.; Laffargue, P.; Lesourd, S.; Lepage, M.; Girardin, M. 2009. Fish composition and assemblage structure in three Eastern English Channel macrotidal estuaries: A comparison with other French estuaries. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **81**:149-59.

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.

Sipaúba-Tavares, L.H. 1998. Limnologia dos sistemas de cultivos. In: W.C. Valentin (ed.). *Carcinicultura de Água Doce: Tecnologia para produção de camarões*. Brasília, IBAMA/FAPESP. p. 47-75.

Souza, E.B.; Kayano, M. T.; Ambrizzi, T. 2004. The regional precipitation over the Eastern Amazon/Northeast Brazil modulated by tropical Pacific and Atlantic SST anomalies on a weekly timescale. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **19** (3): 325-336.

Strickland, J. D. H. & Parsons, T. R. 1972. A practical handbook of seawater analysis. 2 edição. Ottawa, *Fisheries Research Board of Canada*, Bulletin 167.

Tabatabai, M. A. 1974. A rapid method for determination of sulfate in water sample. *Environmental Letters*, **7** (3): 237-243.

Wood, E. D; Armstrong F. A. J; Richards, F. A. 1967. Determination of nitrate in sea water by cadmium copper reduction to nitrite. *Journal Marine Biology. Association United Kingdom*, **47**:23-31.

Viana, A. P. 2006. *Ictiofauna como indicadora da qualidade ambiental na baía do guajará (belém-pa), estuário amazônico*. Dissertação, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 22-26, 29, 31, 119 p.