

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA**

**RAFAEL FERNANDO OLIVEIRA AQUINO**

**INVESTIGAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO DE UM  
SISTEMA ESTUARINO AMAZÔNICO (PARÁ,  
BRASIL) SOB INFLUÊNCIA ANTRÓPICA**

**BELÉM  
2011**

**RAFAEL FERNANDO OLIVEIRA AQUINO**

**INVESTIGAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO DE UM  
SISTEMA ESTUARINO AMAZÔNICO (PARÁ,  
BRASIL) SOB INFLUÊNCIA ANTRÓPICA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de  
Oceanografia do Instituto de  
Geociências da Universidade  
Federal do Pará – UFPA, em  
cumprimento às exigências para  
obtenção do grau de Bacharel em  
Oceanografia.

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Silvia Keiko  
Kawakami.

Belém  
2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

---

A657i Aquino, Rafael Fernando Oliveira

Investigação do estado trófico de um sistema estuarino amazônico (Pará, Brasil) sob influência antrópica / Rafael Fernando Oliveira Aquino; Orientadora: Silvia Keiko Kawakami – 2011

51 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em oceanografia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Oceanografia, Belém, 2011.

1. Estuários - Pará. 2. Estado trófico. 3. Clorofila. I. Kawakami, Silvia Keiko, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. IV. Título.

CDD 20<sup>a</sup> ed.: 551.4618098115

---

**RAFAEL FERNANDO OLIVEIRA AQUINO**

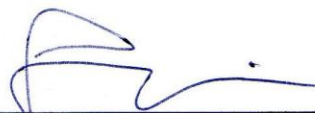
**INVESTIGAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO DE UM  
SISTEMA ESTUARINO AMAZÔNICO (PARÁ,  
BRASIL) SOB INFLUÊNCIA ANTRÓPICA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de  
Oceanografia da Universidade  
Federal do Pará – UFPA, em  
cumprimento às exigências para  
obtenção do grau de Bacharel  
em Oceanografia.

Data de aprovação: 14 / 12 / 2011

Conceito: EXCELENTE

Banca examinadora:



---

Prof.ª Silvia Keiko Kawakami  
Dr.ª em Oceanografia Química  
Universidade Federal do Pará



---

Prof. Estanislau Luczynski  
Dr. em Energia  
Universidade Federal do Pará



---

Prof. Marcelo Rollnic  
Dr. em Oceanografia Física  
Universidade Federal do Pará

Aos meus pais, Fátima e José Aquino.

Dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, José e Fátima Aquino por sempre me incentivarem durante os estudos e acreditarem que eu iria conseguir vencer mais essa batalha.

A Deus por ter me concedido o dom do conhecimento, e ter me dado a paz de espírito necessária para superar obstáculos.

A Prof<sup>a</sup> e Orientadora Silvia Kawakami, por ter me ingressado e instruído no campo da pesquisa científica, e pela paciência com os meus erros de português durante a dissertação deste trabalho.

Aos meus colegas do Laboratório de Oceanografia Química e da turma de 2008, Camila Santos, Lúcio Cardoso, Ana Flávia, Brenda Sena, Helanir, Rafaela Barros (Preta), Rafaella Costa (Branca), Paulo Victor, José Otávio (Frejat) e resto da turma que eu não estou lembrando no momento. Obrigado pelos bons momentos e que todos tenham sucesso na Oceanografia.

A todos os meus amigos que fiz pela vida afora do Madre, Universo, Supremo, etc. muito obrigado por tornar a vida mais alegre!

A minha amiga Thaís Borba por ter me ajudado durante esses quatro anos de curso, sendo uma pessoa fundamental no meu crescimento profissional.

“A natureza achará uma solução para a poluição causada pela civilização.

A questão que permanece é se os seres humanos estão incluídos ou não.”

Mikhail Gorbachev

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo investigar o estado trófico do Estuário Guajará, o qual está situado em frente à cidade de Belém, e é o principal corpo hídrico receptor de seus efluentes domésticos e industriais. Amostras de água foram coletadas no período chuvoso (fevereiro) e no período menos chuvoso (novembro), em pontos considerados com forte ação antrópica e outros ditos afastados da interferência humana. Foram determinados os parâmetros hidroquímicos básicos (pH, Eh, condutividade elétrica, salinidade e temperatura) *in situ* a partir de um analisador multiparâmetros. As concentrações das clorofilas (a, b, c1+c2) e seus produtos de degradação (feofitina-a e clorinas) foram obtidas pelo método espectrofotométrico descrito por Arar (1997). O material particulado em suspensão (MPS) e suas frações orgânica e inorgânica foram medidos pela técnica gravimétrica e o fosfato inorgânico dissolvido (PID) foi determinado por espectrofotometria, ambos descritos em Grasshoff *et al.* (1983). O pH variou de 5,49 a 7,23, os maiores valores se deram no período menos chuvoso, devido a penetração de águas salinas. O Eh esteve na faixa de -2 a 83 mV, a condutividade elétrica apresentou valores de 4,9 a 11520  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e a salinidade de 0 a 6,6, todos com sazonalidade evidente, sendo influenciados pela entrada de águas marinhas. A temperatura variou entre 28,5 e 32,1 °C, valores típicos de estuários equatoriais. O MPS-total obtido foi de 1,48 a 57,92  $\text{mg L}^{-1}$ , a fração orgânica esteve entre 0,56 a 17,92  $\text{mg L}^{-1}$  e a inorgânica de 0,92 a 45,75  $\text{mg L}^{-1}$ . As concentrações das clorofilas a, b e c1+c2 variaram entre 0,47 a 18,78; 7,57 a 40,74; 14,74 a 52,30, respectivamente. O PID esteve na faixa de 1,31 a 2,82  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . As concentrações elevadas das clorofilas e do PID caracterizam o ambiente como eutrófico com forte influência antrópica, a feofitina-a variou de 72,09 a 289,70  $\text{mg m}^{-3}$ . A investigação destes parâmetros é importante por servirem como base de dados para o monitoramento, além de contribuir para o melhor entendimento dos processos ocorrentes no ambiente.

**Palavras-chave:** Estuários – Pará. Estado trófico. Clorofila.

## ABSTRACT

The present work to investigate the trophic state of the Guajará Estuary, which is located in front of town of Belém, and is the main water body receiving its domestic and industrial effluents. Water samples were collected during the rainy season (february) and dry season (november), in points considered below strong anthropic action and others away from human interference. Were certain basic hydrochemical parameters (pH, Eh, electrical conductivity, salinity and temperature) *in situ* from a multiparameter analyzer. Concentrations of chlorophylls (a, b, c1 + c2) and chlorophylls degradation products (pheophytin-a and chlorins) were obtained by the spectrophotometric method described by Arar (1997). The suspended particulate matter (SPM) and its organic and inorganic fractions were measured by the gravimetric technique and dissolved inorganic phosphate (DIP) was determined by spectrophotometry, both described in Grasshoff et al. (1983). The pH ranged from 5.49 to 7.23, the highest values occurred in the less rainy period, due to penetration of saline waters. The Eh was in the range of -2 to 83 mV, the electrical conductivity showed values from 4.9 to 11,520 mS/cm, and salinity from 0 to 6.6, all with clear seasonality, being influenced by the entry of marine waters. The temperature ranged between 28.5 and 32.1 °C, typical values of equatorial estuaries. The SPM-total obtained was 1.48 to 57.92 mg L<sup>-1</sup>, the organic fraction ranged from 0.56 to 17.92 mg L<sup>-1</sup> and inorganic 0.92 to 45.75 mg L<sup>-1</sup>. The concentrations of chlorophyll a, b, c1 + c2 ranged from 0.47 to 18.78, from 7.57 to 40.74, from 14.74 to 52.30 mg m<sup>-3</sup>, respectively. The DIP was in the range 1.31 to 2.82 mol L<sup>-1</sup>. High concentrations of chlorophyll and DIP characterized as eutrophic environment with strong anthropogenic influence, the pheophytin-a it ranged from 72.09 to 289.70 mg m<sup>-3</sup>. The investigation of these parameters is important because they serve as a database to monitor and contribute to a better understanding of the processes occurring in the environment.

**Keywords:** Estuaries – Pará. Trophic state. Chlorophyll.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Estrutura química da clorofila-a e de seus produtos de degradação.....                                                                              | 18 |
| Figura 2 - Localização da área de estudo, zona 22 – UTM.....                                                                                                   | 22 |
| Figura 3 - Área de estudo.....                                                                                                                                 | 28 |
| Figura 4 - Balde com capacidade de aproximadamente 5 L, utilizado para coleta de água.....                                                                     | 29 |
| Figura 5 - Analisador multiparâmetros utilizado para obtenção dos parâmetros hidroquímicos.....                                                                | 29 |
| Figura 6 - Mufla utilizada na calcinação dos filtros para a determinação do material particulado em suspensão (MPS).....                                       | 30 |
| Figura 7 - Espectrofotômetro da marca BIOSPECTRO, usado para a determinação das clorofilas e seus produtos de degradação, e fosfato inorgânico dissolvido..... | 31 |
| Figura 8 - Estufa utilizada para retirada de água dos filtros com o material retido.....                                                                       | 32 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Localização e denominação das estações de coletas no Estuário Guajará.....                                                                                                                                                                                                                     | 28 |
| Tabela 2 - Distribuição espacial das clorofilas (a, b, c1+c2) e seus produtos de degradação (feofitina-a e clorinas), material particulado em suspensão e suas frações orgânica e inorgânica, fosfato inorgânico dissolvido e parâmetros hidroquímicos, no Estuário Guajará, para o mês de fevereiro..... | 40 |
| Tabela 3 - Distribuição espacial das clorofilas (a, b, c1+c2) e seus produtos de degradação (feofitina-a e clorinas), material particulado em suspensão e suas frações orgânica e inorgânica, fosfato inorgânico dissolvido e parâmetros hidroquímicos, no Estuário Guajará, para o mês de novembro.....  | 41 |

## LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                   |                                                   |
|-------------------|---------------------------------------------------|
| Chl- <i>a</i>     | - Clorofila- <i>a</i>                             |
| Chl- <i>b</i>     | - Clorofila- <i>b</i>                             |
| Chl- <i>c1+c2</i> | - Clorofila- <i>c1+c2</i>                         |
| COHAB             | - Cooperativa Habitacional                        |
| Eh                | - Potencial redox                                 |
| Feo- <i>a</i>     | - Feofitina- <i>a</i>                             |
| IBGE              | - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| MPS               | - Material Particulado em Suspensão               |
| pH                | - Potencial Hidrogeniônico                        |
| PID               | - Fosfato Inorgânico Dissolvido                   |

## SUMÁRIO

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b>                                                                                         | 13 |
| 1.1 OBJETIVOS                                                                                               | 15 |
| 1.1.1 Objetivo geral                                                                                        | 15 |
| 1.1.2 Objetivo específico                                                                                   | 15 |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b>                                                                              | 16 |
| 2.1 MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS)                                                                 | 16 |
| 2.2 CLOROFILAS E SEUS PRODUTOS DE DEGRADAÇÃO                                                                | 17 |
| 2.2.1 Clorofilas                                                                                            | 17 |
| 2.2.2 Produtos de degradação                                                                                | 17 |
| 2.2.3 Fosfato inorgânico dissolvido (PID)                                                                   | 18 |
| 2.2.4 Parâmetros hidroquímicos básicos                                                                      | 19 |
| <b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b>                                                                                | 22 |
| 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO                                                                        | 22 |
| 3.1.1 Localização                                                                                           | 22 |
| 3.1.2 Clima                                                                                                 | 23 |
| 3.1.3 Vegetação                                                                                             | 23 |
| 3.1.4 Aspectos geológicos                                                                                   | 24 |
| 3.1.5 Condições oceanográficas                                                                              | 24 |
| 3.1.6 Condições hidroquímicas                                                                               | 25 |
| 3.2 PROCEDIMENTOS DE CAMPO                                                                                  | 27 |
| 3.3. PROCEDIMENTOS DE LABORATÓRIO                                                                           | 30 |
| 3.3.1 Pré-campo                                                                                             | 30 |
| 3.3.2 Pós-campo                                                                                             | 31 |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>                                                                             | 35 |
| <b>5 CONCLUSÃO</b>                                                                                          | 42 |
| REFERÊNCIAS                                                                                                 | 43 |
| ANEXO                                                                                                       | 47 |
| ANEXO A – PLANILHA COM AS ABSORBÂNCIAS LIDAS PARA DETERMINAÇÃO DAS CLOROFILAS E SEUS PRODUTOS DE DEGRADAÇÃO | 49 |
| ANEXO B – RELAÇÃO ENTRE CLOROFILA-A E FEOFITINA-A                                                           | 51 |

## 1 INTRODUÇÃO

Os estuários constituem ecossistemas transicionais entre os ambientes marinhos e de água doce. Os ambientes estuarinos são ecótonos com alta produtividade e atuam como os principais fornecedores de nutrientes para as regiões costeiras, já que recebem e concentram o material proveniente de sua bacia de drenagem. (LOSADA et al., 2003; GREGO et al., 2004; AZEVEDO et al., 2008).

Os estuários são naturalmente ambientes eutróficos devido ao seu contato com águas fluviais, ricas em nutrientes, tanto de origem natural como antrópica. Esse elevado aporte de nutrientes, leva os estuários a situações com taxas extremamente elevadas de produtividade primária e de biomassa fitoplanctônica, o que pode causar condições anóxicas e levar a morte outros organismos dos níveis tróficos superiores.

Como resultado dessa alta produtividade há grande interesse do homem em habitar as proximidades dos estuários a fim de explorá-los como fontes de alimento e renda, através de diversas atividades como as industriais, pesqueiras, portuárias, entre outras, sem, no entanto um planejamento adequado. Por este motivo além do aporte natural, os estuários podem receber o aporte de substâncias antropogênicas, como ocorre no Estuário Guajará, já que este é o receptor da drenagem da cidade de Belém, tida como a segunda cidade mais populosa da região amazônica (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2010). Ao longo da baía do Guajará é notável a presença de inúmeros igarapés, furos e canais de maré, além de canais onde há constantemente despejo de efluentes urbanos e domésticos.

Diversos trabalhos têm sido realizados com o intuito de avaliar os possíveis impactos que o intenso adensamento populacional e industrial da cidade de Belém vem sofrendo. Dentre os inúmeros trabalhos pode-se destacar o de Mazzeo (1991), em estudo desenvolvido para avaliar as redes de drenagem da cidade de Belém, onde foi evidenciada poluição por metais provenientes de atividades antropogênicas. Corroborado por Nascimento (2007), que obteve nos sedimentos de fundo do Estuário Guajará concentrações de metais pesados, provavelmente de fonte antropogênica,

devido ao despejo de esgotos *in natura* em canais que são afluentes do estuário.

A presença de metais, além de outros compostos, pode modificar as condições físico-químicas – pH, condutividade elétrica, etc. - afetando os organismos que habitam este ecossistema, como a comunidade fitoplanctônica. Tais organismos são responsáveis pela fabricação de uma importante parcela da matéria orgânica (GREGO et al., 2004), além de representarem a base da teia alimentar marinha-estuarina, ou seja, estes indivíduos são considerados os principais produtores primários dos oceanos e estuários (SANTANA, 2004), e são extremamente sensíveis às alterações físico-químicas do meio.

Por isso o estudo do material particulado em suspensão (MPS) que pode servir como superfície de adsorção para compostos orgânicos e metais, tornando estas substâncias orgânicas disponíveis para a biota e transportando-as pelo estuário, se torna necessário (CLARK, 2001). Além de ser uma potencial fonte energética para os níveis tróficos superiores (BRANDINI et al. 1997, SANTANA, op. cit.). Por outro lado, o material particulado em suspensão pode ainda atuar como limitante para a produtividade primária (fitoplâncton), pois a sua presença atenua a penetração da luz solar incidente nas superfícies dos corpos d'água (ESTEVES, 1998).

No presente trabalho estudou-se, no Estuário Guajará, principalmente a fração orgânica do material particulado em suspensão, como: as clorofilas (a, b, c1+c2) e seus produtos de degradação (feofitina-a e clorinas, sendo este último considerado um biomarcador paleoceanográfico de produtividade).

Foi estudado, também, o fosfato inorgânico dissolvido (PID) que é um constituinte da matéria viva e um dos principais nutrientes para os organismos planctônicos, presentes nas formas  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  e  $\text{PO}_4^{3-}$  (MILLERO, 2006).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Investigar o estado trófico de um estuário amazônico sob influência antrópica.

### 1.1.2 Objetivo específico

✓ Avaliar as concentrações de clorofilas (a, b, c1+c2) e seus produtos de degradação (feofitina-a e clorinas) do Estuário Guajará;

✓ Avaliar a concentração de material particulado em suspensão, as frações orgânicas e inorgânicas, fosfato inorgânico dissolvido e os parâmetros hidroquímicos básicos (pH, Eh, condutividade elétrica, salinidade, temperatura) do Estuário Guajará;

✓ Investigar as variações nos parâmetros abióticos e bióticos citados acima e relacionar com uma possível interferência urbana sobre o Estuário Guajará.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS)

O material em suspensão engloba pequenas partículas que se encontram na coluna d'água. Segundo Aminot e Chaussepied (1983<sup>1</sup> apud BAUMGARTEN et al., 2010) tais partículas correspondem a aquelas com diâmetro superior a 0,45  $\mu\text{m}$ , já os inferiores a este diâmetro são ditas dissolvidas. Os constituintes do MPS são às partículas orgânicas – fitoplâncton, zooplâncton, bactérias e detritos – e os minerais (GRASSHOFF et al., 1983).

O material particulado em suspensão tem enorme importância nos ecossistemas aquáticos, já que exercem influência direta na produtividade primária, onde grandes quantidades de MPS podem vir a ocasionar na depleção drástica nas concentrações de oxigênio dissolvido na coluna d'água, pela atenuação da penetrabilidade da luz solar que se dá por absorção e dispersão, diminuindo as taxas de fotossíntese e respiração (TUNDISI; TUNDISI, 2008). Outra importante função do material particulado em suspensão quando associado às ações das marés e processos de sedimentação, refere-se à mobilização e transporte de diversas substâncias contaminantes, como exemplo, nutrientes e metais pesados (CLARK, 2001; DIAS et al., 2008).

As águas estuarinas, regiões costeiras e/ou próximas a descargas de rios ou sujeitas à ressuspensão do sedimento de fundo apresentam concentrações mais elevadas de MPS comparadas com o oceano aberto (BAUMGARTEN; POZZA, 2001). As principais fontes do material em suspensão são as intensas precipitações e drenagens, portanto, o grau de desmatamento ou a cobertura vegetal são fatores preponderantes para a saúde dos ecossistemas aquáticos (TUNDISI; TUNDISI, op. cit.).

---

<sup>1</sup>AMINOT, A.; CHAUSSEPIED, M. *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*. Brest: Cnexo, 1983. 395 p.

## 2.2 CLOROFILAS E SEUS PRODUTOS DE DEGRADAÇÃO

### 2.2.1 Clorofilas

As clorofilas são os principais pigmentos fotossintéticos utilizados por algas e plantas superiores, já que estes organismos utilizam uma série de compostos pigmentados com a função de converter energia luminosa em energia química e, assim, realizar o processo fotossintético. Portanto, os pigmentos clorofilícos atuam como fotorreceptores no ato primário de conversão de luz em energia química (SOARES, 2006; LOURENÇO, 2007).

Dentre os pigmentos fotossintéticos o principal (mais comum) é a clorofila-*a*, sendo a mais utilizada na maioria das classes de algas, logo seguido pela clorofila-*b*, clorofilas *c1+c2* e, ainda, pela clorofila-*d* e protoclorofila (DOLPHIN, 1978<sup>2</sup> apud LOURENÇO, op. cit.).

A fotossíntese é a principal responsável pela produção de matéria orgânica e ainda liberação de oxigênio, os organismos que a realizam estão situados na base da teia alimentar e são ditos produtores dos ecossistemas aquáticos. Em ambientes estuarinos, os organismos fitoplanctônicos são os principais produtores primários, onde além dessa importante representatividade, os mesmos são utilizados como indicadores das condições ambientais, pois devido ao seu caráter dinâmico e sensibilidade, respondem rapidamente às alterações físico-químicas do ambiente (BRANDINI *et al.*; SANTANA, 2004).

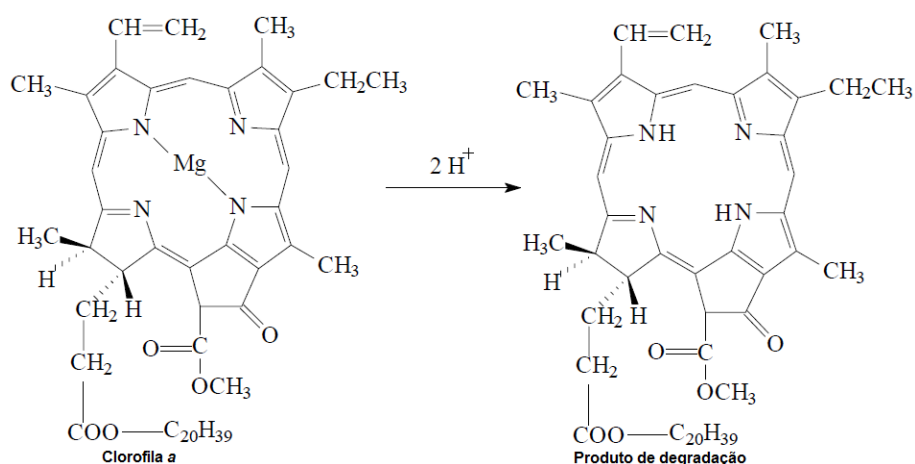
### 2.2.2 Produtos de degradação

As clorofilas sofrem degradação quando do estado de senescência – processo natural de envelhecimento celular. Quimicamente a clorofila perde o íon metálico  $Mg^{2+}$ , sendo substituído por dois átomos de hidrogênio (Figura 1) (LEAL, 2006; SOARES 2006; LOURENÇO, 2007).

---

<sup>2</sup>DOLPHIN, D.; *The porphyrins. Physical Chemistry*. New York, EUA: Academic Press Inc., 1978. Part C (v. 5).

Figura 1 - Estrutura química da clorofila-a e de seus produtos de degradação.



Fonte: Soares (2006)

Portanto, o estudo da feofitina-a que é um produto de degradação da clorofila-a, tem importância por diferenciar os organismos vivos ainda realizando processos fotossintéticos, daqueles já mortos sem nenhum tipo de atividade, favorecendo estimativa correta das concentrações de clorofila-a.

Segundo Higginson (1999<sup>3</sup> apud LOURENÇO, 2007) as clorinas, grupo onde a feofitina-a também está inserida, são utilizadas como biomarcadores paleoceanográficos de produtividade em testemunhos, estando relacionada a variações de produtividade e diagênese, sendo esta última influenciada por processos como a bioturbação, adsorção, reatividade molecular, formação de complexos pigmentados e tempo de residência na coluna d'água e interface água-sedimento.

### 2.2.3 Fósforo inorgânico dissolvido (PID)

As fontes de fósforo são naturais, como os depósitos minerais de apatita ou artificiais como os derivados de fertilizantes agrícolas, efluentes urbanos e domésticos, e material particulado de origem industrial em suspensão na atmosfera (ESTEVES, 1998; ODUM; BARRETT, 2008). As variadas formas de fósforo no ambiente são controladas por processos biológicos e físicos.

<sup>3</sup>HIGGINSON, M. *Chlorin pigment stratigraphy as a new and rapid paleoceanography proxy in the quaternary*. University of Bristol, 1999.

O fósforo é um elemento essencial à vida aquática, sendo um importante constituinte da matéria viva, estando presente principalmente nas formas inorgânicas ionizáveis:  $\text{HPO}_4^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{PO}_4^{3-}$ . Uma das principais utilizações do fosfato inorgânico dissolvido é a assimilação do  $\text{PO}_4^{3-}$  pelo fitoplâncton durante a fotossíntese. Quando o fitoplâncton morre, o fósforo orgânico é rapidamente convertido para  $\text{PO}_4^{3-}$ , podendo ser consumido por outros organismos ou mesmo adsorvido por material particulado em suspensão, sendo levado para o sedimento de fundo (MILLERO, 2006; BAUMGARTEN et al., 2010).

As concentrações do PID, nos estuários não poluídos, variam em torno de 1,2  $\mu\text{M}$ , quando se tem altas concentrações há provavelmente interferência antropogênica que ocasionam processos de eutrofização e alguns casos florações de algas danosas (BAUMGARTEN et al., op. cit.).

## **2.2.4 Parâmetros hidroquímicos básicos**

### **2.2.4.1 Potencial hidrogeniônico (pH)**

O pH é termo utilizado para designar a concentração de íons hidrônios livres na água, ou mesmo o grau de basicidade ou acidez. Os íons livres são resultantes da dissociação da própria molécula de água e, também, por outras fontes naturais e/ou antrópicas. O pH é um parâmetro adimensional e possui uma escala que vai de 0 a 14. Onde valores de 0 e menores que 7 são considerados ácidos, os maiores que 7 a 14 são ditos básicos e aqueles iguais a 7 são neutros (CUNHA ; PASCOALOTO, 2006; BAUMGARTEN et al., 2010).

Segundo Esteves (1998) o pH é um dos parâmetros mais importantes, apesar de sua difícil interpretação pelo fato de ser influenciado por diversas variáveis. Dentre as variáveis que podem controlar os valores de pH se tem a fotossíntese e a respiração dos organismos, oxidação da matéria orgânica, absorção de gases da atmosfera, entre outras (BAUMGARTEN; POZZA, 2001).

O pH de águas continentais variam de 6 a 8, em sua grande maioria, podendo apresentar variações de mais ácidas ou básicas (ESTEVES, op. cit.).

#### 2.2.4.2 Potencial redox (Eh)

O Eh é medida que corresponde à capacidade de um corpo d'água em doar ou receber elétrons, podendo afetar diretamente na solubilização de metais. O Eh apresenta uma forte relação como aporte excedente de matéria orgânica, onde pequenas variações na entrada e na degradação podem alterar o estado químico da espécie presente no ambiente (STONER, 1994; SALOMONS; STIGLIANI, 1995).

Os ambientes que apresentarem Eh positivo são ditos ambientes oxidantes e aqueles que tiverem Eh negativo são considerados ambientes redutores (SALOMONS; STIGLIANI, op. cit.).

#### 2.2.4.3 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica é medida que expressa a capacidade que a água tem de conduzir corrente elétrica, devido à presença de íons dissolvidos na água. A condutividade elétrica em águas estuarinas pode indicar a influência de águas marinhas, por meio da presença dos elementos maiores. Sua determinação é de suma importância, pois pode fornecer informações sobre os processos ocorrentes no corpo d'água, como a floculação de minerais argilosos e hidróxidos que podem precipitar e carrear compostos dissolvidos na água para o sedimento de fundo (ESTEVES 1998; PROTÁZIO et al., 2004; CUNHA; PASCOALOTO, 2006).

#### 2.2.4.4 Salinidade

Por definição, a salinidade consiste na concentração de sais dissolvidos na água, dos quais os principais sais na água são os formados por cátions sódio, cálcio, magnésio e potássio, e os ânions cloretos, sulfatos e bicarbonatos (BAUMGARTEN et al., 2010).

A salinidade em águas costeiras e estuarinas é influenciada pela ação das ondas de maré e pelo aporte continental. Com forte contribuição para a liberação e remoção de elementos da coluna d'água (MONTEIRO, 2009).

#### 2.2.4.5 Temperatura

A temperatura é um parâmetro de grande importância, pois sua variabilidade tem influência em diversos processos, como sumarizado por (BAUMGARTEN et al., 2010), a saber:

- ✓ Controla diretamente as taxas de reações químicas e biológicas;
- ✓ Influencia a solubilidade de gases, como o oxigênio dissolvido;
- ✓ E pode alterar diretamente a taxa de transferência de gases produzidos na camada sedimentar e solubilizados para a coluna d'água.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

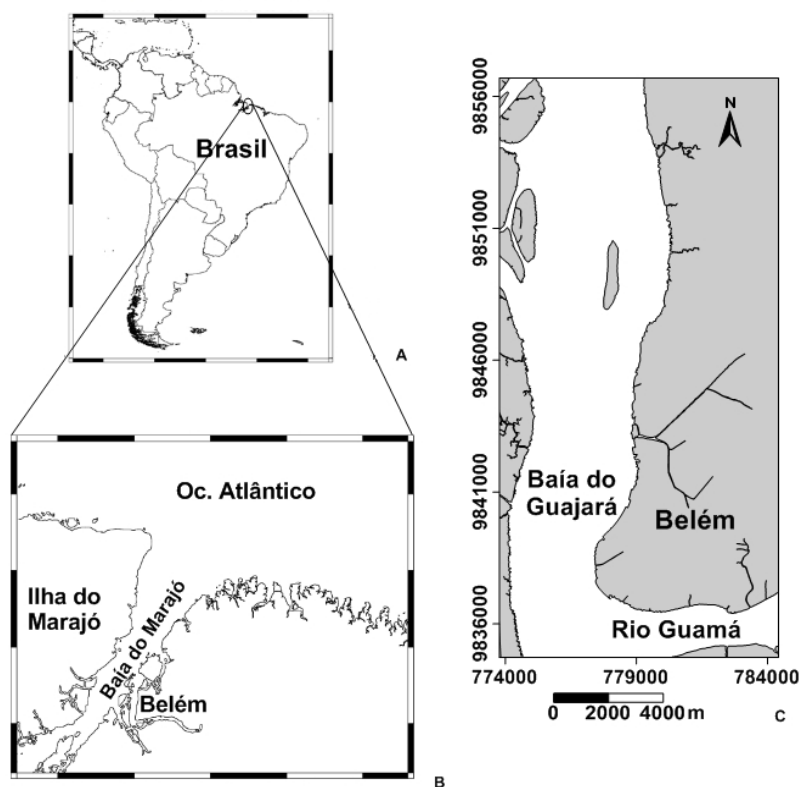
#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

##### 3.1.1 Localização

A área pesquisada, Estuário Guajará, é formada pela confluência dos rios Acará, Guamá, onde mais ao norte confunde-se com a baía do Marajó parte integrante do Golfão Marajoara, o qual se situa na foz do rio Amazonas (PINHEIRO, 1987; SOUZA FILHO et al., 2004).

O Estuário Guajará tem na sua margem direita a segunda cidade mais populosa da região amazônica, Belém – PA, com cerca de 1.393.399 de habitantes, onde recebe a denominação de baía do Guajará (Fig. 2) (IBGE, 2010).

Figura 2 - Localização da área de estudo, zona 22 M sul – UTM. **(A)** Continente latino americano - Brasil. **(B)** Trecho da Ilha do Marajó, incluindo a baía do Marajó. **(C)** Estuário Guajará (Baía do Guajará), em frente à cidade de Belém.



### 3.1.2 Clima

O clima da área de estudo é do tipo floresta tropical úmido, sem estação fria, de acordo com a classificação de Koppen. A região apresenta duas estações bem definidas: uma estação chuvosa, com alta intensidade pluviométrica durante os meses de dezembro a maio, apresentando um valor médio de 1657 mm; e uma estação menos chuvosa (ou seca), com certo período de estiagem, e pluviometria menor, com uma média de 487 mm (CORDEIRO, 1987; MORAES et al., 2005).

### 3.1.3 Vegetação

Apesar da forte urbanização sofrida na área de estudo e onde estão locados os pontos de amostragem, orla de Belém, ainda é existente a presença de vegetação em grande parte do Estuário Guajará.

Pinheiro (1987) descreve que a vegetação presente no Estuário Guajará é fortemente influenciada por fatores geomorfológicos, sendo possível distinguir três tipos, a saber:

1. Matas de várzea, a qual está intimamente relacionada ao controle periódico das marés e por processos de colmatação natural, produto das elevadas concentrações de material particulado em suspensão. Este tipo de vegetação ocupa cerca de 60% do estuário, estando presente em sua maioria a aninga (*Montrichardia arborencens*) e ocasionalmente o mururé (*Eichhornia azurea*).

2. Floresta densa, este tipo de vegetação está associada aos terrenos mais elevados ditos de terra firme e se tem maior diversidade de espécies com predominância de dicotiledôneas. A composição florística deste tipo vegetacional, segundo Lima (1956), é possível destacar a andiroba (*Carapa guinensis*), o açacu (*Hura crepitans*), o cacau (*Theobroma cacao*), a seringueira (*Hevea brasiliensis*), o ingá (*Inga cinnamomea*), a samaúma (*Ceiba pentrandia*).

3. Florestas secundárias estão relacionadas às regiões desmatadas, bastante frequentes na área de estudo. Esta vegetação surge logo após a destruição da floresta primária, com a implementação de uma vegetação arbustiva e em menor número, como a imbaúba (*Cecropia sp.*) e o lacre (*Vismia sp.*). Podendo, posteriormente, se assemelhar com a floresta primária, onde irá ser habitada por arbustos maiores, palmeiras e árvores.

#### **3.1.4 Aspectos geológicos**

O Estuário Guajará está inserido na Bacia Sedimentar da foz do rio Amazonas, a qual é composta por várias formações, como Limoeiro, Pará, Marajó, entre outras (CORDEIRO, 1987).

A área de estudo é constituída pela formação Barreiras, que consiste em sedimentos compostos por conglomerados, arenitos e argilitos, pouco consolidados, moderados a mal selecionados, predominantemente sem estratificação com concreções e arenitos ferruginosos *in situ* e retrabalhados, sendo divididos em três litofáceis, das quais apenas duas estão presentes no estuário Guajarino: I – lamosa, com argila, silte e suas misturas, distribuídas nas regiões marginais do estuário; II – arenosa, areias e areias siltosas, presentes nos diversos bancos preenchendo parcialmente os principais canais e todo o eixo central do rio Guamá (CORDEIRO, op. cit.; PINHEIRO, 1987)

A área de estudo tem quatro províncias morfológicas principais, dividindo seu fundo: I – alto fundo da baía possui profundidades inferiores a 10 m e compreende a borda leste da baía do Guajará; II – canal da Ilha das Onças, com profundidades variando entre 10 a 17 m, está situada na área de confluência entre os rios Guamá e Acará; III – barra do Guajará Açu, possui profundidades inferiores a 5 m; IV – o vale da foz do rio Guamá, com profundidades de 8 até 14m (PINHEIRO, op. cit.; SILVEIRA, 1992).

#### **3.1.5 Condições oceanográficas**

Pinheiro (1987) descreve as características dos ventos predominantes na cidade de Belém. Os ventos ocorrentes na área de estudo são os de direção E

(Leste) denominados de “terral” e atuam durante o período matutino até 12-14 horas e os de N-NE (Norte-Nordeste) chamados de “geral”, que são predominantes no período vespertino até o final da noite.

Dependendo da intensidade, velocidade, tempo de duração e direção dos ventos que atingirem as águas superficiais do Estuário Guajará podem ocasionar nas formações de ondas, assim como, a direção dos fluxos de marés, profundidades da coluna d'água e as condições meteorológicas sazonais e ocasionais. As ondas forçadas pelos ventos exercem papéis importantes, na área de estudo, pois são responsáveis pela ressuspensão do sedimento de fundo quase que constante nos bancos e margens, e pelos ataques erosivos, criando ainda situações de deposição de sedimentos em locais específicos (PINHEIRO, 1987).

Segundo Cordeiro (1987) o Estuário Guajará está sujeito a marés semidiurnas, que são mais acentuadas no período menos chuvoso, onde se tem a penetração evidente da cunha salina. Durante o ano de 2011 as marés apresentaram uma altura média de 1,85 m, com as maiores marés nos meses de fevereiro e março, atingindo até 3,8 m (DHN, 2011).

### **3.1.6 Condições hidroquímicas**

O Estuário Guajará é o principal corpo hídrico receptor da drenagem de Belém, recebendo um volume de 18,294 m<sup>3</sup>/dia da rede de esgotos, que são despejados *in natura* (COHAB,1997).

Diante da importância do estuário e da problemática condição em que o mesmo está inserido, diversos trabalhos foram realizados com o intuito de avaliar, caracterizar e estabelecer o quão à influência do homem pode estar alterando o equilíbrio deste ecossistema aquático, se valendo de diferentes parâmetros.

Quanto as variáveis físico-químicas, Moura (2007), encontrou valores de condutividade elétrica na baía do Guajará de 100 a 300 µS/cm. Para o pH, as águas do Estuário Guajará apresentam valores entre 6 e 7, em condições normais. Pode apresentar variações na faixa de 4,23 a 6,70 considerados levemente ácidos, os pH menores estariam associados à locais com presença

de ácidos orgânicos. As temperaturas foram de 28 a 30,1°C, típicas de estuários equatoriais, a turbidez apresentou valores entre 111,00 a 184,00 UNT e a transparência que ficou na faixa de 12,00 a 25,00 cm. Os valores de turbidez e transparência corroboram com as altas concentrações de MPS de 115,06 e 97,61 mg L<sup>-1</sup>, no período chuvoso e menos chuvoso, respectivamente (PINHEIRO, 1987; BERREDO et al., 2003).

A salinidade somente é perceptível no Estuário Guajará durante o período menos chuvoso (junho a novembro), Cordeiro (1987) obteve máximos teores de salinidade à altura da ilha de Mosqueiro e do Distrito de Icoarací, de 7,0 e 0,8, respectivamente. Em profundidade a variação da salinidade é muito pequena, sugerindo que há forte influência da maré, não havendo estratificação horizontal (CORDEIRO, op cit.).

O oxigênio dissolvido nas águas do Estuário Guajará apresentam concentrações típicas entre 6,5 a 8 mg L<sup>-1</sup> (RAMOS, 2004). Os valores mínimos de oxigênio dissolvido estão associados à descarga de efluentes industriais. Já o oxigênio consumido apresenta comportamento oposto, apresentando seus máximos nas proximidades das margens, variando de 3,2 a 8 mg L<sup>-1</sup>, conforme descrito por Moura (2007).

As concentrações de fósforo total e fosfato inorgânico dissolvido (PID), encontradas por Aviz (2006), estiveram próximos de zero, não apresentando uma sazonalidade evidente. O mesmo foi evidenciado por Moura (op cit.), para o fósforo total, que encontrou concentrações maiores, no período chuvoso, de 0,05 a 0,21 mg L<sup>-1</sup> e menores no período menos chuvoso variando de 0,01 a 0,08 mg L<sup>-1</sup>. Mazzeo (1991) obteve valores elevados de PID em efluentes do Estuário Guajará, que alcançaram 5,5 mg L<sup>-1</sup> por estar sobre influência direta de esgotos domésticos e industriais.

Silva (2006) descreve que os teores de amônia foram maiores no período chuvoso, estando associados não somente a alta pluviosidade, mas principalmente a influência dos efluentes urbanos. Assim como para outros compostos nitrogenados, Moura (op. cit.), obteve um aumento das concentrações de nitrato, à medida que os pontos de amostragem se afastavam da margem, pelo fato de que esgotos de algumas empresas são lançados em torno de 50-100 m no interior da baía, porem voltando a ter um

decaimento a 400 m de distância da margem, mostrando, ainda, a capacidade que o Estuário Guajará tem de diluir os seus efluentes industriais e domésticos. Os teores de nitrato variaram de 0,2 a 1 mg L<sup>-1</sup>.

Ainda segundo Moura (2007) as concentrações de sulfato, na baía do Guajará, não estão relacionadas com os esgotos que são despejados neste corpo d'água. Os valores de sulfato variaram de 11 a 140 mg L<sup>-1</sup>, no mês de novembro, e de 18 a 36 mg L<sup>-1</sup>, no mês de Dezembro.

Em estudo realizado por Maranhão (2007), na Microbacia de Val-de-Cães, os altos valores de coliformes totais estariam associados ao contato com as águas da baía do Guajará. O que pode ser justificado a partir dos dados de coliformes totais e termotolerantes, obtidos por Silva (2006) na baía do Guajará, que variaram de <1 a 2,0 x 10<sup>6</sup> NMP/100 mL.

Berredo *et al.* (2003) obteve teores de óleos e graxas que variaram de 3,80 a 7,90 mg L<sup>-1</sup>, em pontos localizados em frente ao canal do Una e ao depósito da Petrobrás, ambos na baía do Guajará. O que indica possíveis impactos pelo trânsito e lavagem de embarcações de diversos portes e tamanhos, vazamentos de óleo e outros.

Os elevados teores de metais nos sedimentos de fundo da baía do Guajará, como os de ferro, manganês, zinco, cobre, níquel e cromo, estão diretamente relacionados com o despejo *in natura* dos esgotos da cidade de Belém, pois ficou evidente o comportamento crescente das concentrações à medida que se aproximavam do rio Guamá (CARVALHO, 2002).

### 3.2 PROCEDIMENTOS DE CAMPO

As amostragens de água foram superficiais, sempre no sentido continente-oceano sob regime de maré vazante, sendo realizadas nos períodos chuvoso (fevereiro) e menos chuvoso (novembro), do ano de 2011. Os seis pontos de coleta estão locados na margem direita do Estuário Guajará, onde está situada a cidade de Belém – área urbanizada – sendo que destes, dois ficam próximos às descargas de esgotos (Ver-o-peso e Canal da Tamandaré) e os outros em áreas mais afastadas da influência antrópica (Figura 3 e Tabela 1).

Figura 3 - Área de estudo. A) Distribuição das estações de coleta no Estuário Guajará. B) Ponto 1 – Mangal das Garças. C) Ponto 2 – Ver-o-Peso. D) Ponto 3 – Canal da Tamandaré. E) Ponto 4 – Bombeiros. F) Ponto 5 – CIABA. G) Ponto 6 – Porto da Nassau.

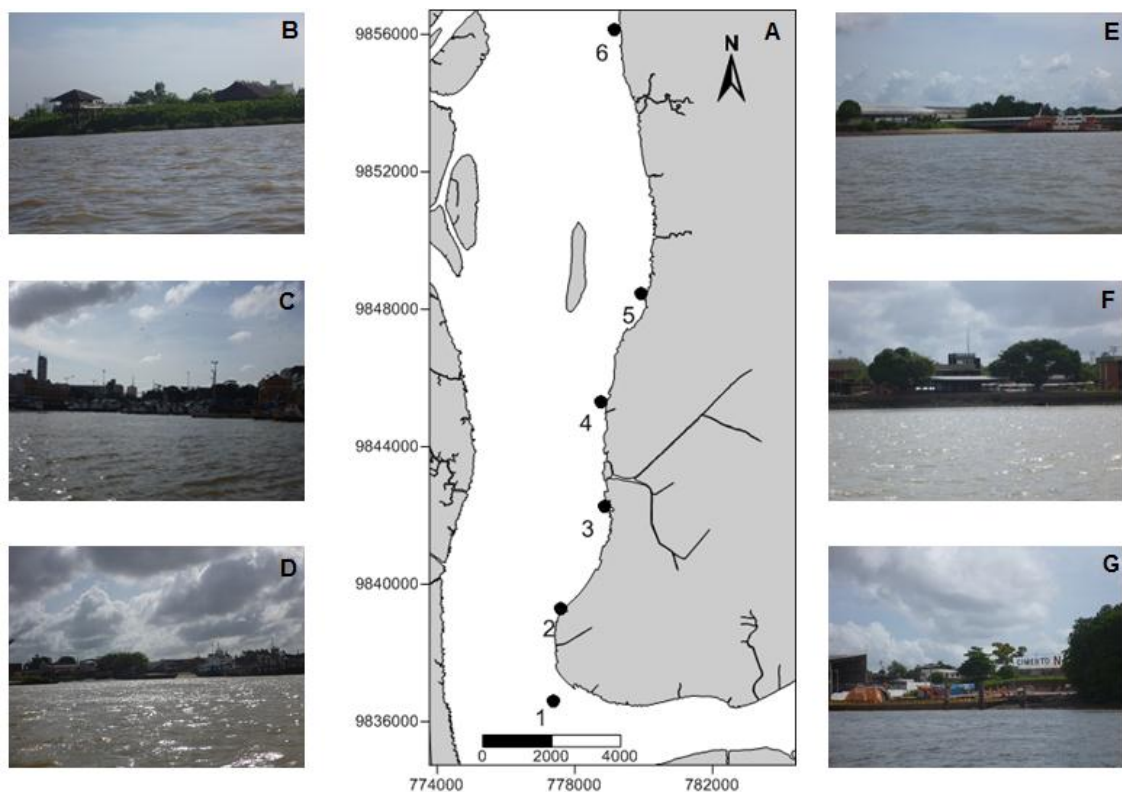


Tabela 1 - Localização e denominação das estações de coletas no Estuário Guajará.

| Estação | Denominação        | Coordenadas (UTM) |
|---------|--------------------|-------------------|
| 1       | Mangal das Garças  | 777393 e 9836596  |
| 2       | Ver-o-Peso         | 777600 e 9839286  |
| 3       | Canal da Tamandaré | 778870 e 9842262  |
| 4       | Bombeiros          | 778763 e 9845288  |
| 5       | CIABA              | 779938 e 9848442  |
| 6       | Porto da Nassau    | 779154 e 9856130  |

Para a coleta de água, em cada ponto, foi utilizado um balde com capacidade de aproximadamente 5 L (Figura 4). Posteriormente a amostra foi subdividida em garrafas plásticas, (duplicata para clorofilas e seus produtos de degradação e uma para o MPS e DIP) e, ainda, retirou-se uma alíquota para

medição dos parâmetros hidroquímicos (pH, Eh, condutividade elétrica, salinidade e temperatura), onde foi utilizado o analisador multiparâmetros da marca HANNA (Figura 5).

Figura 4 - Balde com capacidade de aproximadamente 5 L, utilizado para a coleta de água.



Foram filtradas 150 mL de cada garrafa para análise de clorofilas e MPS em filtros de fibra de vidro GF-3 com porosidade de 0,7  $\mu\text{m}$  (47 mm). Os filtros (previamente calcinados, vide item 3.3.1) com material retido foram devidamente embalados em papel alumínio e armazenados em caixas de isopor com gelo, onde posteriormente foram transferidos para um freezer e mantidos a  $-20^{\circ}\text{C}$  até o momento da análise em laboratório. A amostra de água filtrada foi destinada a determinação do PID e, também, teve de ser armazenada sob refrigeração como os filtros.

Figura 5 - Analisador multiparâmetros utilizado para obtenção dos parâmetros hidroquímicos.



### 3.3 PROCEDIMENTOS DE LABORATÓRIO

#### 3.3.1 Pré-campo

Como procedimentos tomados antes das coletas se fizeram necessárias a calcinação e a pesagem dos filtros de fibra de vidro, que foram executadas no Laboratório de Análises Químicas, do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará.

Os filtros permaneceram por 4 h, a temperatura de 450°C, devidamente envolvidos em papel alumínio na mufla de marca Quimis (Figura 6), onde passado o período preciso para a calcinação, a mufla foi desligada e os filtros somente foram retirados após aproximadamente 12 h, a fim de atingir a temperatura ambiente, para a pesagem (M1).

Figura 6 - Mufla utilizada na calcinação dos filtros para determinação do material particulado em suspensão (MPS).



### 3.3.2 Pós-campo

#### 3.3.2.1 Clorofila (*a*, *b*, *c1+c2*) e seus produtos de degradação (feofitina-*a* e clorinas)

Para a determinação das concentrações de clorofilas-*a*, *b*, *c1+c2* e feofitina-*a* foi utilizado o método espectrofotométrico, descrito por Arar (1997).

Primeiramente, os filtros foram desembulhados e colocados em frascos do tipo falcon (15,0 mL) provido de tampa e contendo 10 mL de acetona 90% v/v, com o auxílio de uma espátula realizou-se a maceração dos filtros para facilitar o processo de extração e a quebra das células fitoplanctônicas. A extração foi feita em banho de ultrassom, com um período de duração de 15 min.

Após um período de no mínimo 2 horas a 4°C, o extrato foi centrifugado a 5000 rpm por 15 min e uma alíquota sobrenadante foi transferida para cubeta (1,0 mL). Para a leitura das absorbâncias utilizou-se os comprimentos de onda: 630, 647, 664 e 750 nm, lidos no espectrofotômetro de marca BIOSPECTRO (Figura 7). Posteriormente foram adicionadas 2 gotas de ácido clorídrico (HCl 0,1 N), por meio de pipetas do tipo pasteur (1 gota equivale a ~ 0,05 mL), aguardou-se 90 segundos para a conversão total da clorofila-*a* em feofitina-*a*,

e, então, as absorvâncias foram lidas nos comprimentos: 665 e 750 nm, novamente.

Figura 7 - Espectrofotômetro da marca BIOSPECTRO, usado para a determinação das clorofilas e seus produtos de degradação, e fosfato inorgânico dissolvido (PID).



As absorvâncias obtidas (vide ANEXO A) foram utilizadas nas equações tricromáticas de Jeffrey & Humphrey e de Lorenzen para os cálculos das concentrações das clorofilas-*a*, *b*, *c1+c2* e feofitina-*a*.

Para a identificação qualitativa das clorinas, as leituras das absorvâncias foram executadas no comprimento de onda de 408 nm, conforme descrito por Rosell- Melé *et al.* (1997).

#### 3.3.2.2 Material particulado em suspensão (MPS)

Para a determinação do MPS foi utilizado o método gravimétrico descrito por Grasshoff *et al.* (1983). Conforme descrito na metodologia os filtros foram previamente calcinados e pesados, anotando o valor M1 (vide item 3.3.1 Pré-campo) e foi filtrado um volume conhecido – 150 mL – em um filtro de 0,7 µm (47 mm) de porosidade.

Os filtros destinados à obtenção do MPS total e suas frações orgânica e inorgânica foram levados à estufa da marca Quimis e mantidos por 12 h (Figura 8), a temperatura de 110°C, para remoção completa da água. Aguardou-se o resfriamento dos filtros e foi realizada uma nova pesagem, denominado de M2.

Figura 8 - Estufa utilizada para retirada de água dos filtros com o material retido.



Após a secagem dos filtros, os mesmos foram postos na mufla embalados em papel alumínio, a temperatura de 450°C por 1 h 30 min, para a remoção completa de material orgânico sob a forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Novamente aguardou-se o resfriamento e fez-se nova pesagem, M3.

As diferenças dos pesos entre as massas dos filtros antes (sem material filtrado) e após o material seco e calcinado nos fornece os valores para o material particulado total e as frações orgânica e inorgânica, como detalhado em seguida:

$$\text{Material total em suspensão} = M2 - M1$$

$$\text{Material inorgânico em suspensão} = M3 - M1$$

$$\text{Material orgânico em suspensão} = M2 - M3$$

Durante a preparação e análise dos filtros foi tomado bastante cuidado, em manuseá-los apenas com o auxílio de pinças, para evitar contaminações.

#### 3.3.2.3 Fosfato inorgânico dissolvido (PID)

O método utilizado para a determinação do PID baseia-se espectrofotometria, como descrito por Grasshoff *et al.* (op. cit.). As amostras de

água para o PID são as filtradas para o MPS, já que se faz necessário à filtração com intuito de retirar o material em suspensão, que interferir na leitura das absorvâncias.

As amostras de água filtrada permaneceram conservadas a  $-20^{\circ}\text{C}$ . Para a análise, as amostras foram retiradas do freezer para atingir a temperatura ambiente no Laboratório de Oceanografia Química da Universidade Federal do Pará, onde foram transferidos 35 mL para uma proveta de 50 mL provida de tampa.

Adicionou-se em cada proveta, 1 mL da mistura de reagentes, que é constituída pelo molibdato de amônio, ácido sulfúrico, os quais em reação com os íons fosfato da amostra formam o ácido molibdofosfórico de coloração amarela. A mistura contém um catalisador, o antimonil tartarato de potássio, que acelera a redução do ácido molibdofosfórico, após a adição de 1 mL de ácido ascórbico, formando o complexo fosfomolibdênio.

Depois da adição de cada reagente é indispensável à agitação da proveta, para acelerar as reações. Posterior à realização destes procedimentos, foi aguardado 5 min para a leitura da absorvância no comprimento de onda a 880 nm.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho para os pigmentos fotossintéticos, seus produtos de degradação, fosfato inorgânico dissolvido (PID), material particulado em suspensão (MPS) e parâmetros hidroquímicos, encontram-se sumarizados nas Tabelas 2 e 3, períodos chuvoso (fevereiro) e menos chuvoso (novembro), respectivamente.

Quanto aos parâmetros hidroquímicos analisados – pH, Eh, condutividade elétrica, salinidade e temperatura – apresentaram uma sazonalidade marcante.

O pH variou de 5,75 a 6,64, no mês de fevereiro, valores típicos para águas do Estuário Guajará, segundo Moura (2007) em condições normais, e de 5,49 a 7,23 para novembro (Tabela 2 e 3), os altos valores se deram nos pontos de amostragem mais próximos do oceano – CIABA e o Porto da Nassau – indicando a penetração de águas salinas.

A entrada das águas salinas no Estuário Guajará, durante o período menos chuvoso, foi marcadamente evidenciada com os valores de condutividade elétrica e salinidade mais elevados. Onde a condutividade elétrica esteve entre 1290  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 11520  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e a salinidade de 0,6 a 6,6 (Tabela 2 e 3), apresentando um padrão crescente em direção ao oceano, com os valores máximos no Porto da Nassau.

Fato este corroborado pelo Eh que apresentou valores negativos também nos pontos de amostragem locados mais próximos da influência de águas oceânicas. O Eh na estação chuvosa esteve na faixa de 66 a 83 mV, e na estação menos chuvosa de -2 a 79 mV.

O mesmo comportamento da influência salina no Estuário Guajará foi descrito por Cordeiro (1987), em um estudo realizado para avaliar a salinização da baía do Guajará.

Para a temperatura, como era esperado, os valores foram superiores no período menos chuvoso e dentro da faixa para estuários equatoriais, variando de 28,5 a 28,8 °C e de 27,7 a 32,1 °C, para o mês de fevereiro e novembro, respectivamente.

As concentrações das clorofilas (a, b e c1+c2) foram superiores no período menos chuvoso (novembro), para ambos os períodos sazonais os pigmentos predominantes foram do tipo Chl-*b* e chl-*c1+c2*. A clorofila-*b* variou

de 8,66 a 21,39 mg m<sup>-3</sup>, no mês de fevereiro, e de 32,54 a 40,74 mg m<sup>-3</sup>, no mês de novembro. Já as clorofilas-*c1+c2* estiveram na faixa de 14,53 a 32,87 mg m<sup>-3</sup> e de 50,66 a 52,30 mg m<sup>-3</sup>, para os respectivos meses (Tabelas 2 e 3).

A predominância de pigmentos clorofílicos Chl-*b* e Chl-*c1+c2* ocorre nos taxas fitoplanctônicas Chlorophyta, Chrysophyta e Haptophyta (Wright et al., 1991; Delizo et al. 2007). Deste modo, os resultados obtidos podem ser comparados com o estudo qualitativo e quantitativo realizado por Paiva et al. (2006), no Estuário Guajará, onde o grupo de maior representatividade foi o das diatomáceas inseridas no taxa Chrysophyta, seguidas pelas clorofíceas (Chlorophyta), as quais tiveram maior ocorrência no período menos chuvoso, concordando com as concentrações obtidas neste trabalho para o mesmo período.

Para a clorofila-*a* os valores obtidos para o mês de fevereiro ficaram na faixa de 6,56 a 18,78 mg m<sup>-3</sup> e em novembro variaram de 0,47 a 1,75 mg m<sup>-3</sup> (Tabelas 2 e 3), ficando evidente sua sazonalidade.

Observações semelhantes foram encontradas por Grego et al. (2004) no Estuário do rio Timbó (Paulista, PE) e Honorato da Silva et al. (2004), no Estuário do rio Formoso (PE), que associaram a maior concentração de Chl-*a* no período chuvoso, ao incremento na disponibilidade de nutrientes originados da lixiviação do solo, descartando a luz como fator limitante para os organismos fitoplanctônicos.

Fato este não evidenciado por Losada et al. (2003), nos estuários dos rios Ilhetas e Mamucaba (Tamandaré-PE) e por Azevedo et al. (2008), no Golfão Maranhense, onde os valores de Chl-*a* se deram nas épocas de menor intensidade pluviométrica, devido a maior transparência do corpo d'água e concentrações satisfatórias de nutrientes.

Paiva et al. (op. cit.) obtiveram, também concentrações de Chl-*a* maiores no período chuvoso, 11,28 mg m<sup>-3</sup>, e associaram estes altos valores à técnica empregada para determinação deste pigmento, que não considerou a separação da Chl-*a* e de seu produto de degradação (Feofitina-*a*). Portanto a clorofila detrital proveniente da decomposição da vegetação ciliar que são comumente inundadas, durante o período chuvoso, e possivelmente

transportadas pelas correntes, estaria superestimando as concentrações da Chl-a.

O comportamento da feofitina-a pode explicar os valores de Chl-a serem inferiores aos de Chl-b e c1+c2 e o padrão encontrado por Paiva *et al.* (2006), já que apresentou concentrações elevadas, variando de 72,09 a 239,41 mg m<sup>-3</sup> (mais chuvoso) e de 142,85 a 289,70 mg m<sup>-3</sup> (menos chuvoso). O ponto de amostragem com os maiores teores de Feo-a, foi o localizado em frente ao Mangal das Garças, que apresenta uma vasta vegetação, com 239,41 mg m<sup>-3</sup> (fevereiro) e 289,70 mg m<sup>-3</sup> (novembro).

A relação proposta por Ramírez (2005) entre a Chl-a e Feo-a, como segue nas eq. (1 e 2), indica o grau de maturidade fisiológica da comunidade fitoplanctônica e, ainda, o estado do ciclo reprodutivo destes organismos, os valores obtidos da razão Chl-a ativa:Feo-a menores que 1 (Vide ANEXO B), aponta que no Estuário Guajará o material degradado é superior ao da matéria orgânica viva, tendo um estágio avançado de maturidade, fato este que pode estar relacionado aos efluentes domésticos e industriais despejados no estuário, ou mesmo a vegetação ciliar, já que o local de maior concentração de Feo-a foi o Mangal das Garças.

$$\text{Chl-a ativa} = \text{Chl-a} - \text{Feo-a} \quad (1)$$

$$\text{Razão} = \text{Chl-a ativa/Feo-a} \quad (2)$$

Levando-se em consideração as concentrações dos três pigmentos fotossintetizantes (Chl-a, Chl-b e Chl-c1+c2) o período de maior produtividade foi o menos chuvoso (Tabela 3), onde claramente os teores dos pigmentos foram superiores ao período de maior pluviosidade.

No Estuário Guajará a quantidade de material particulado em suspensão (MPS) apresentou uma sazonalidade evidente, onde no período menos chuvoso, variou de 1,48 a 14,33 mg L<sup>-1</sup> e de 27,50 a 57,92 mg L<sup>-1</sup> no mais chuvoso (Tabela 2 e 3). O que mostra a forte influência da precipitação pluviométrica na descarga fluvial aumentando a quantidade de MPS, proveniente da lixiviação do solo, no Estuário Guajará. Cordeiro (1987)

relaciona também a relação inversa entre a salinidade e o MPS, já que a penetração de águas salinas no estuário, durante o período menos chuvoso, provoca a agregação de partículas finas e posterior deposição.

Os maiores valores de MPS foram no ponto de amostragem locado em frente ao Ver-o-Peso, e isso pode ser decorrente de contribuição antrópica sobre este parâmetro. Com relação às frações orgânica e inorgânica do MPS, em todos os pontos a fração inorgânica foi superior, com exceção do ponto Tamandaré onde a fração orgânica apresentou maiores concentrações, nos dois períodos amostrados.

A fração orgânica do MPS teve valores maiores durante a estação chuvosa, de 3,08 a 17,92 mg L<sup>-1</sup> (Tabela 2), que corroboram com os dados obtidos por Santos et al. (2011) sobre a atividade enzimática e qualidade hídrica do Estuário Guajará, onde a atividade de organismos fito e zooplantônicos foi superior para o mesmo período.

O fosfato inorgânico dissolvido (PID), assim como o MPS, apresentou um comportamento sazonal, pois as suas concentrações praticamente duplicaram do período chuvoso para o menos chuvoso, de 1,31 a 1,62 µmol L<sup>-1</sup> para 1,69 a 2,82 µmol L<sup>-1</sup>. O fato de as concentrações do PID serem bem mais elevadas na estação menos chuvosa, pode ser atribuída a maior descarga dos efluentes domésticos e industriais despejados no Estuário Guajará. A mesma situação foi descrita por Honorato da Silva (2004) em um estuário nordestino, e por Mazzeo (1991) que obteve valores elevados de PID em canais, como o da Tamandaré.

Ao contrário do que era esperado o PID e Chl-a não apresentaram o mesmo padrão de comportamento, diferentemente das Chl-b e c1+c2 que também tiveram suas concentrações duplicadas no período de menor pluviosidade, o que reforça a condição de que há realmente uma contribuição dos efluentes domésticos e industriais nos teores do PID, no Estuário Guajará.

Passavante (2003) utiliza as concentrações de Chl-a para estabelecer o estado trófico de estuários, do seguinte modo:

- I. Oligotrófico ou baixa produção fitoplanctônica, com concentrações de 0 a 5 mg m<sup>-3</sup>.
- II. Mesotrófico ou média produção fitoplanctônica, com concentrações de 5 a 10 mg m<sup>-3</sup>.

III. Eutrófico ou alta produção fitoplanctônica, com concentrações de 10 a 20 mg m<sup>-3</sup>.

IV. Hipereutrófico ou altíssima produção fitoplanctônica, com concentrações acima de 20 mg m<sup>-3</sup>.

Portanto, levando-se em consideração apenas as concentrações de clorofila-*a*, o Estuário Guajará seria eutrófico durante o período chuvoso e oligotrófico no período menos chuvoso. Entretanto deve-se atentar para as elevadas concentrações das Chl-*b* e *c1+c2* que mostram uma potencialidade produtiva do Estuário Guajará muito alta, principalmente no período de menor pluviosidade.

As concentrações das clorofilas obtidas neste trabalho, relacionadas com os teores de oxigênio dissolvido encontrados por Moura (2007), no Estuário Guajará. Mostrou ter uma relação direta, pois os teores de oxigênio dissolvido são mais elevados no mesmo período em que houve incremento nas concentrações das clorofilas (menos chuvoso). Porém este autor descreve como fator para esse aumento de OD, a diminuição da quantidade de matéria orgânica proveniente da lixiviação do solo, conseqüentemente menor consumo de oxigênio na degradação da mesma.

Tabela 2 - Distribuição espacial das clorofilas (a, b, c1+c2) e seus produtos de degradação (feofitina-a e clorinas), material particulado em suspensão e suas frações orgânica e inorgânica, fosfato inorgânico dissolvido e parâmetros hidroquímicos, no Estuário Guajará, para o mês de fevereiro.

| <b>ESTAÇÃO</b>                            | <b>Mangal</b> | <b>Ver-o-Peso</b> | <b>Tamandaré</b> | <b>Bombeiros</b> | <b>CIABA</b> | <b>Porto da Nassau</b> |
|-------------------------------------------|---------------|-------------------|------------------|------------------|--------------|------------------------|
| <b>Chl-a (mg m<sup>-3</sup>)</b>          | 18,78         | 16,65             | 6,56             | 9,84             | 16,33        | 9,13                   |
| <b>Chl-b (mg m<sup>-3</sup>)</b>          | 21,36         | 21,39             | 9,97             | 8,66             | 15,08        | 7,57                   |
| <b>Chl-c1+c2 (mg m<sup>-3</sup>)</b>      | 28,55         | 32,87             | 16,05            | 14,74            | 25,63        | 14,53                  |
| <b>Feo-a (mg m<sup>-3</sup>)</b>          | 239,41        | 176,22            | 98,79            | 72,09            | 233,63       | 230,96                 |
| <b>Clorinas (ABS)</b>                     | 0,11          | 0,17              | 0,05             | 0,07             | 0,12         | 0,07                   |
| <b>PID (μmol L<sup>-1</sup>)</b>          | 1,34          | 1,36              | 1,52             | 1,49             | 1,62         | 1,31                   |
| <b>MPS- Total (mg L<sup>-1</sup>)</b>     | 27,50         | 57,92             | 35,00            | 34,58            | 38,75        | 48,42                  |
| <b>MPS-Orgânico (mg L<sup>-1</sup>)</b>   | 10,83         | 12,17             | 17,58            | 13,24            | 17,92        | 3,08                   |
| <b>MPS-Inorgânico (mg L<sup>-1</sup>)</b> | 16,67         | 45,75             | 17,42            | 21,35            | 20,83        | 45,33                  |
| <b>pH</b>                                 | 5,75          | 6,64              | 5,85             | 5,85             | 5,94         | 6,11                   |
| <b>Eh (mV)</b>                            | 76            | 83                | 69               | 71               | 66           | 57                     |
| <b>Condutividade elétrica (μS/cm)</b>     | 5,1           | 4,9               | 5,6              | 5,0              | 5,5          | 7,1                    |
| <b>Salinidade</b>                         | 0             | 0                 | 0                | 0                | 0            | 0                      |
| <b>Temperatura (°C)</b>                   | 28,8          | 28,6              | 28,8             | 28,5             | 28,7         | 28,7                   |

Tabela 3 - Distribuição espacial das clorofilas (a, b, c1+c2) e seus produtos de degradação (feofitina-a e clorinas), material particulado em suspensão e suas frações orgânica e inorgânica, fosfato inorgânico dissolvido e parâmetros hidroquímicos, no Estuário Guajará, para o mês de novembro.

| <b>ESTAÇÃO</b>                            | <b>Mangal</b> | <b>Ver-o-Peso</b> | <b>Tamandaré</b> | <b>Bombeiros</b> | <b>CIABA</b> | <b>Porto da Nassau</b> |
|-------------------------------------------|---------------|-------------------|------------------|------------------|--------------|------------------------|
| <b>Chl-a (mg m<sup>-3</sup>)</b>          | 1,72          | 1,75              | 1,39             | 1,58             | 1,02         | 0,47                   |
| <b>Chl-b (mg m<sup>-3</sup>)</b>          | 35,71         | 40,43             | 40,74            | 36,33            | 36,91        | 32,54                  |
| <b>Chl-c1+c2 (mg m<sup>-3</sup>)</b>      | 51,16         | 50,66             | 52,30            | 51,62            | 51,66        | 51,93                  |
| <b>Feo-a (mg m<sup>-3</sup>)</b>          | 289,70        | 252,32            | 253,65           | 180,23           | 142,85       | 170,88                 |
| <b>Clorinas (ABS)</b>                     | 0,15          | 0,13              | 0,07             | 0,09             | 0,05         | 0,01                   |
| <b>PID (μmol L<sup>-1</sup>)</b>          | 1,69          | 2,11              | 2,55             | 2,68             | 2,82         | 1,69                   |
| <b>MPS- Total (mg L<sup>-1</sup>)</b>     | 9,50          | 15,10             | 14,33            | 6,56             | 1,48         | 6,77                   |
| <b>MPS-Orgânico (mg L<sup>-1</sup>)</b>   | 2,90          | 4,70              | 8,30             | 1,22             | 0,56         | 1,11                   |
| <b>MPS-Inorgânico (mg L<sup>-1</sup>)</b> | 6,60          | 11,40             | 6,03             | 5,34             | 0,92         | 5,66                   |
| <b>pH</b>                                 | 5,49          | 6,24              | 6,93             | 6,60             | 7,23         | 7,05                   |
| <b>Eh (mV)</b>                            | 79            | 50                | 14               | 32               | -2           | -2                     |
| <b>Condutividade elétrica (μS/cm)</b>     | 1290          | 1315              | 1585             | 1421             | 3600         | 11520                  |
| <b>Salinidade</b>                         | 0,6           | 0,7               | 0,8              | 0,7              | 1,9          | 6,6                    |
| <b>Temperatura (°C)</b>                   | 29,4          | 27,7              | 28,7             | 32,1             | 29,2         | 29,4                   |

## 5 CONCLUSÃO

As concentrações dos pigmentos clorofílicos *a*, *b* e *c1+c2*, e do fosfato inorgânico dissolvido, indicam o Estuário Guajará como um ambiente eutrófico, com forte influência antrópica, devido aos esgotos domésticos e industriais despejados *in natura* no estuário e em seus efluentes.

As concentrações das clorofilas *b* e *c1+c2* foram superiores as da clorofila-*a*, em ambos os períodos estudados, o que indica a predominância de organismos fitoplanctônicos das taxas Chrysophyta e Chlorophyta.

A relação entre a clorofila-*a* e seu produto de degradação (feofitina-*a*), mostra que o Estuário Guajará está em um estágio avançado de seu ciclo reprodutivo.

O material particulado em suspensão apresentou uma sazonalidade evidente, sendo, portanto influenciado pela precipitação pluviométrica. Assim como os parâmetros hidroquímicos, que devido à penetração de águas salinas no período menos chuvoso, apresentaram o mesmo comportamento sazonal.

A investigação do estado trófico de ambientes costeiros, principalmente em estuários, tem grande importância, pois é uma ferramenta essencial que permite detectar a influência antrópica e pode evitar impactos maiores como as florações de algas danosas (blooms fitoplanctônicos), se realizada em longo prazo. Já que em trabalho realizado paralelamente por Santos *et al.* (2011) mostra através de biomarcadores condições de estresse em locais como Ver-o-Peso.

Pelo fato do presente trabalho está inserido em um projeto de pesquisa novas amostragens serão realizadas para investigar as possíveis variações das clorofilas, entre regimes de marés enchente e vazante, além da inclusão de novos parâmetros como oxigênio dissolvido e serão realizadas identificações das espécies fitoplanctônicas no estuário que poderão confirmar a predominância dos pigmentos de acordo com as espécies presentes.

## REFERÊNCIAS

- ARAR, E.J. *Method 446.0 in vitro determination of chlorophylls a, b, c + c and pheopigments in marine and freshwater algae by visible spectrophotometry*. Washington D.C., USA: National Exposure Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, 1997. p. 26.
- AVIZ, D. *Variações espaço-temporais das associações macrobentônicas em áreas sujeitas à contaminação ambiental do Estuário Guajará*. 2006. 108 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Ambiental) – Universidade Federal do Pará, Campus de Bragança, Programa de Pós-Graduação em Biologia Ambiental, Bragança, 2006.
- AZEVEDO, A. C. G.; FEITOSA, F. A. N.; KOENING, M. L. Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais no Golfão Maranhense, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, v. 22, p. 870-877. 2008.
- BAUMGARTEN, M. G. Z.; POZZA, S. A. P. *Qualidade de águas - descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental*, Rio Grande: FURG, 2001. p. 164.
- BAUMGARTEN, M. et al. *Manual de análises em Oceanografia química*. Rio Grande: FURG, 2010. p. 174.
- BERREDO, J. F. et al. *Caracterização química, físico-química, microbiológica da água superficial da Baía do Guajará (Belém, Pará)*. Disponível em: <[http://www.iepa.ap.gov.br/temp1/IEPA/CPAq/PETRORISCO/OUTROS/JoseBerredo\\_resumo\\_Petrorisco\\_PA.pdf](http://www.iepa.ap.gov.br/temp1/IEPA/CPAq/PETRORISCO/OUTROS/JoseBerredo_resumo_Petrorisco_PA.pdf)>. Acesso em: 27 nov. 2011.
- BRANDINI, F. P. et al. *Planctologia na Plataforma Continental do Brasil. Diagnose e revisão bibliográfica*. REVISEE. Belém-PA. 1997.
- CARVALHO, Z. L. *Caracterização geoquímica de sedimentos de fundo nas proximidades do distrito de Icoaraci-PA*. 2002. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2002.
- CLARK, R. B. *Marine pollution*. Oxford: University Press. 5<sup>a</sup> ed., 2001. p. 237.
- COHAB – COOPERATIVA HABITACIONAL. *Levantamento do quadro ambiental da região metropolitana de Belém – produto 3*. Belém. PNUB/IPESP/FADESP/COHAB. 158 p. 1997.
- CORDEIRO, C. A. *Estudo da salinização no estuário do rio Pará no trecho Belém-Mosqueiro*. 1987. 119 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Belém, 1987.

CUNHA, H. B. DA; PASCOALOTO, D. *Hidroquímica dos rios da Amazônia*. Centro Cultural dos Povos da Amazônia. Manaus, 2006.

DELIZO, L.; SMITH, W. O.; HALL, J. Taxonomic composition and growth rates of phytoplankton assemblages of the subtropical convergence east of New Zealand. *Journal of Plankton Research*, v. 29, n. 8, p. 655-670. 2007.

DIAS, F. J. S.; MARINS, R. V.; MAIA, L. P. Descargas de material particulado em suspensão para o Estuário do rio Jaguaribe (CE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA E CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE OCEANOGRAFIA, 3., 2008, Fortaleza. *Anais...*, Fortaleza: ABO, 2008. 1 CD-ROM.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). *Tábuas de maré*. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm>>. Acesso em: 23 nov. 2011.

ESTEVES, F. de A. *Fundamentos da limnologia*.. Rio de Janeiro: Interciência, 2<sup>o</sup> ed., 1998.

GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M; KREMLING, K. *Methods of seawater analysis*. Weihein, Verlag Chemie. 1983.

GREGO, C.K.S. et al. Distribuição espacial e sazonal da clorofila a fitoplanctônica e hidrologia do estuário do rio Timbó (Paulista - PE). *Tropical Oceanography*, v. 32, p. 181-199. 2004.

HONORATO DA SILVA, M. et al. Distribuição espacial e sazonal da biomassa fitoplanctônica e dos parâmetros hidrológicos no Estuário do rio Formoso (rio Formoso, Pernambuco, Brasil). *Tropical Oceanography*, v. 32, n. 1, p. 89-106. 2004.

IBGE. 2010. *Sinopse do censo demográfico 2010*. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default\\_sinopse.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default_sinopse.shtm)>. Acesso em: 09 Jul. 2011.

LEAL, P. DA R. *Avaliação de indicadores do estado trófico de uma lagoa costeira: Lagoa Jacuném*. 2006. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia), Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

LOSADA, A. P. DE M.; FEITOSA, F. A. DO N.; LINS, I. C. Variação sazonal e espacial da biomassa fitoplanctônica nos Estuários dos rios Ilhetas e Mamucaba (Tamandaré-PE) relacionada com parâmetros hidrológicos. *Tropical Oceanography*, v. 31, n. 1, p. 1-26. 2003.

LOURENÇO, R. A. *Aplicação de marcadores orgânicos moleculares em estudos oceanográficos e paleoceanográficos: Estudo de caso da margem continental superior do sudeste do Brasil*. 2007. 158 f. Tese (Doutorado em

Ciências) – Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, São Paulo, 2007.

MARANHÃO, R. DE A. *Impactos da ocupação urbana e qualidade das águas superficiais na Microbacia de Val-de-Cães (BELÉM/PA)*. 2007. 150 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Belém, 2007.

MAZZEO, T. E. *Avaliação ambiental das vias de drenagem da região metropolitana de Belém (PA) quanto a distribuição dos elementos Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb e Zn*. 1991. 164 f. Tese (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 1991.

MONTEIRO, S. DE M. *Dinâmica dos parâmetros abióticos na zona de mistura do estuário rio Paracuari, Ilha do Marajó-PA*. 2009. 151 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2009.

MORAES, B.C. et al. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta amazônica*, 35: p. 207-214, 2005.

MOURA, E. M. *Mapeamento do halo de dispersão formado por efluentes industriais lançados na baía do Guajará no trecho compreendido entre o bairro de Val-de-Cães e o distrito de Icoaraci*. 2007. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2007.

MILLERO, F. J. *Chemical oceanography*. New York: CRC Press. 3ª ed., 2006. p. 496.

NASCIMENTO, S. N. DO. *Caracterização da assinatura isotópica de Pb atual e da concentração de metais pesados em sedimentos de fundo da foz do rio Guamá e da baía do Guajará (Belém – Pará)*. 2007. 104 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2007.

ODUM, E. P.; BARRETT, G. W. *Fundamentos de ecologia*. Cengage Learning, 5ª ed., 2008. p. 612.

PAIVA, R. S. et al. Considerações ecológicas sobre o fitoplâncton da baía do Guajará e foz do rio Guamá (Pará, Brasil). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências Naturais*, v. 1, n. 2, p. 133-146, 2006.

PASSAVANTE, J. Z. DE O. Produção fitoplanctônica do Estuário Capibaribe (Recife, Pernambuco, Brasil). In: CONGRESSO NORDESTINO DE ECOLOGIA, 10, 2003, Recife. *Anais.*, Recife, 2003. 1 CD-ROM.

PINHEIRO, R. V. L. *Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do Estuário Guajará-Belém (PA)*. 1987. 185 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Belém, 1987.

PROTAZIO, L.; TANAKA, S. M. C. N.; CAVALCANTE, P. R. S. Avaliação de procedimentos de extração sequencial de fósforo de sedimento. *Revista Analytica*, n. 8, p. 35-41. 2004.

RAMÍREZ, B. Distribución vertical de clorofila en los fiordos Australes Ubicados entre el estrecho de Magallanes y el Cabo de Hornos (Chile). *Ciencia y Tecnología del Mar*, v. 28, n. 2, p. 43-61. 2005.

RAMOS, J. *Poluição e contaminação da orla de Belém-PA*. In: UHLY, S. e SOUZA, E. L. A questão da água na grande Belém. Belém: Casa de Estudos Germânicos, 2004.

ROSELL-MELÉ, A.; KOÇ, N. Paleoclimatic significance of stratigraphy occurrence of photosynthetic biomarker pigments Nordic Seas. *Geology*, v. 25, n. 1, p. 49-52. 1997.

SALOMONS, W.; STIGLIANI, W. M. *Biogeodynamics of Pollutants in Soils and Sediments*. Risk Assesment of Delayed and Non-Linear Responses. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. 1995.

SANTOS, C. C. et al. *Glutathione-S-transferase em material particulado e a qualidade hídrica do Estuário Guajará, Belém-PA, Brasil*. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DO MAR. 14. 2011, Balneário Camboriú. *Anais...*, Balneário Camboriú: ABO, 2011. 1 CD-ROM.

SANTANA, D. S. *Composição florística e variação espaço-temporal dos parâmetros ambientais e da biomassa fitoplanctônica do estuário do rio Marapanim (Pará-Brasil)*. 2004. 113 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.

SILVA, D. F. *Utilização de indicadores biológicos na avaliação da qualidade da água da baía do Guajará e do rio Guamá (Belém-Pará)*. 2006. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Pará, Curso de Pós-Graduação em Ciência Animal, Belém, 2006.

SOARES, R. R. DA S. *Estudo de propriedades da clorofila a e da feofitina a visando a terapia fotodinâmica*. 2006. 92 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Química, Programa de Pós-Graduação em Química, Maringá, 2006.

STONER, D. L. *Biotechnology for the Treatment of Hazardous Waste*. Florida, EUA: CRC Press,. 1994.

TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M. *Limnologia*. Oficina de textos. p. 631, 2008.

WRITH, S. W. et al. Improved HPLC method for the analysis of chlorophylls and carotenoids from marine phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series*, v. 77, p. 183-196. 1991.

## ANEXOS

ANEXO A – PLANILHA COM AS ABSORBÂNCIAS LIDAS PARA DETERMINAÇÃO DAS CLOROFILAS E SEUS PRODUTOS DE DEGRADAÇÃO

| Concentrações clorofilas, feofitina-a e clorinas (mg L <sup>-1</sup> ) |        |        |         |              |                                                     |         |         |              |                   |                      |       |           |       |          |
|------------------------------------------------------------------------|--------|--------|---------|--------------|-----------------------------------------------------|---------|---------|--------------|-------------------|----------------------|-------|-----------|-------|----------|
|                                                                        |        |        |         |              |                                                     |         |         |              | Jeffrey & Humprey |                      |       | Lorenze's |       | Clorinas |
| ESTAÇÃO                                                                | Filtro | Volume | ABS 664 | ABS 665 Acid | ABS 647                                             | ABS 630 | ABS 750 | ABS 750 Acid | Ce,a              | Ce,b                 | Ce,c  | Ce,a      | Pe,a  | ABS 408  |
| Mangal                                                                 | 3      | 150 mL | 0,043   | 0,041        | 0,038                                               | 0,039   | 0,025   | 0,023        | 0,19              | 0,14                 | 0,21  | 0,00      | 0,34  | 0,147    |
|                                                                        | 4      | 150 mL | 0,031   | 0,032        | 0,028                                               | 0,028   | 0,018   | 0,019        | 0,14              | 0,11                 | 0,15  | 0,00      | 0,24  | 0,114    |
| Ver-o-peso                                                             | 5      | 150 mL | 0,035   | 0,035        | 0,033                                               | 0,033   | 0,021   | 0,021        | 0,15              | 0,14                 | 0,18  | 0,00      | 0,26  | 0,129    |
|                                                                        | 8      | 150 mL | 0,043   | 0,042        | 0,039                                               | 0,039   | 0,025   | 0,026        | 0,19              | 0,16                 | 0,21  | 0,05      | 0,25  | 0,149    |
| Tamandaré                                                              | 10     | 150 mL | 0,021   | 0,02         | 0,017                                               | 0,017   | 0,01    | 0,011        | 0,12              | 0,07                 | 0,10  | 0,05      | 0,11  | 0,068    |
|                                                                        | 11     | 150 mL | 0,033   | 0,033        | 0,03                                                | 0,03    | 0,019   | 0,021        | 0,15              | 0,13                 | 0,16  | 0,05      | 0,17  | 0,112    |
| Bombeiros                                                              | 19     | 150 mL | 0,028   | 0,027        | 0,022                                               | 0,023   | 0,014   | 0,015        | 0,15              | 0,07                 | 0,14  | 0,05      | 0,17  | 0,093    |
|                                                                        | 20     | 150 mL | 0,029   | 0,028        | 0,024                                               | 0,025   | 0,015   | 0,017        | 0,15              | 0,09                 | 0,15  | 0,08      | 0,13  | 0,1      |
| CIABA                                                                  | 13     | 150 mL | 0,016   | 0,015        | 0,013                                               | 0,013   | 0,009   | 0,008        | 0,08              | 0,04                 | 0,06  | 0,00      | 0,13  | 0,047    |
|                                                                        | 14     | 150 mL | 0,021   | 0,02         | 0,016                                               | 0,016   | 0,01    | 0,011        | 0,12              | 0,05                 | 0,08  | 0,05      | 0,11  | 0,063    |
| Icoarací                                                               | 15     | 150 mL | 0,005   | 0,005        | 0,003                                               | 0,003   | 0,002   | 0,001        | 0,03              | 0,00                 | 0,01  | -0,03     | 0,10  | 0,013    |
|                                                                        | 16     | 150 mL | 0,007   | 0,005        | 0,004                                               | 0,003   | 0,002   | 0,002        | 0,06              | 0,01                 | 0,00  | 0,05      | 0,00  | 0,011    |
| Concentrações dos pigmentos em toda a amostra. (mg L <sup>-1</sup> )   |        |        |         |              |                                                     |         |         |              |                   |                      |       |           |       |          |
| Cs,a                                                                   | Cs,b   | Cs,c   |         |              | Concentrações dos Pigmentos em mg m <sup>-3</sup> . |         |         |              |                   | Concentrações Médias |       |           |       |          |
| 0,00                                                                   | 0,03   | 0,05   |         |              | Cs,a                                                | Cs,b    | Cs,c    | Pe,a         |                   | Chl-a                | Chl-b | Chl-c1+c2 | Feo-a |          |
| 0,00                                                                   | 0,04   | 0,05   |         | Mangal       | 2,0                                                 | 33,5    | 54,4    | 336,4        | Mangal            | 1,7                  | 35,7  | 51,2      | 289,7 |          |
| 0,00                                                                   | 0,04   | 0,05   |         |              | 1,4                                                 | 37,9    | 47,9    | 243,0        | Ver-o-peso        | 1,8                  | 40,4  | 50,7      | 252,3 |          |
| 0,00                                                                   | 0,04   | 0,05   |         | Ver-o-peso   | 1,5                                                 | 42,9    | 53,4    | 261,7        | Tamandaré         | 1,4                  | 40,7  | 52,3      | 253,7 |          |
| 0,00                                                                   | 0,03   | 0,05   |         |              | 2,0                                                 | 38,6    | 51,2    | 245,6        | Bombeiros         | 1,6                  | 36,3  | 51,6      | 180,2 |          |
| 0,00                                                                   | 0,04   | 0,05   |         | Tamandaré    | 1,2                                                 | 34,1    | 52,0    | 114,8        | CIABA             | 1,0                  | 36,9  | 51,7      | 142,8 |          |
| 0,00                                                                   | 0,03   | 0,05   |         |              | 1,5                                                 | 39,7    | 51,3    | 170,9        | Nassau            | 0,5                  | 32,5  | 51,9      | 170,9 |          |
| 0,00                                                                   | 0,03   | 0,06   |         | Bombeiros    | 1,6                                                 | 25,4    | 52,6    | 170,9        |                   |                      |       |           |       |          |
| 0,00                                                                   | 0,02   | 0,04   |         |              | 1,6                                                 | 31,1    | 57,0    | 125,5        |                   |                      |       |           |       |          |
| 0,00                                                                   | 0,03   | 0,04   |         | CIABA        | 0,8                                                 | 23,1    | 38,8    | 130,8        |                   |                      |       |           |       |          |
| 0,00                                                                   | 0,00   | 0,02   |         |              | 1,3                                                 | 25,0    | 43,2    | 114,8        |                   |                      |       |           |       |          |
| 0,00                                                                   | 0,02   | 0,00   |         | Nassau       | 0,4                                                 | 4,3     | 24,8    | 101,5        |                   |                      |       |           |       |          |
|                                                                        |        |        |         |              | 0,6                                                 | 18,2    | 2,0     | 2,7          |                   |                      |       |           |       |          |

**Fórmulas:****Jeffrey & Humprey:**

$$Ce,a = 11,85 (ABS\ 664 - ABS\ 750) - 1,54 (ABS\ 647 - ABS\ 750) - 0,08 (ABS\ 630 - ABS\ 750)$$

$$Ce,b = 21,03 (ABS\ 647 - ABS\ 750) - 5,43 (ABS\ 664 - ABS\ 750) - 2,66 (ABS\ 630 - ABS\ 750)$$

$$Ce,c = 24,52 (ABS\ 630 - ABS\ 750) - 7,60 (ABS\ 647 - ABS\ 750) - 1,67 (ABS\ 664 - ABS\ 750)$$

**Lorenze's:**

$$Ce,a = 26,7 [(ABS\ 664 - ABS\ 750) - (ABS\ 665 - ABS\ 750_{acid.})]$$

$$Pe,a = 26.7 \{1.7 \times [(ABS\ 665 - ABS\ 750_{acid.}) - (ABS\ 664 - ABS\ 750)]\}$$

**Concentrações das clorofilas na amostra toda:**

$$Cs = \frac{Ce\ (a,b,\ \text{or}\ c) \times \text{volume do extrato (L)} \times \text{fatores de diluição}}{\text{Volume da amostra (L)} \times \text{diâmetro óptico da cubeta (cm)}}$$

onde:

Ce (a, b ou c) → concentração do pigmento na alíquota analisada;

Volume do extrato → 0,0104;

Fatores de diluição → 1;

Volume da amostra → 0,15 L;

Diâmetro da cubeta → 1 cm

## ANEXO B – RELAÇÃO ENTRE CLOROFILA-A E FEOFITINA-A

**Tabela** - Relação entre clorofila-a e feofitina-a, para o mês de fevereiro.

| ESTAÇÃO    | Chl-a | Feo-a  | Chl-a ativa | Chl-a ativa:Feo-a |
|------------|-------|--------|-------------|-------------------|
| Mangal     | 18,8  | 239,41 | -220,6      | -1,1              |
| Ver-o-peso | 16,6  | 176,22 | -159,6      | -1,1              |
| Tamandaré  | 6,6   | 98,79  | -92,2       | -1,1              |
| Bombeiros  | 9,8   | 72,09  | -62,2       | -1,2              |
| CIABA      | 16,3  | 233,63 | -217,3      | -1,1              |
| Nassau     | 9,1   | 230,96 | -221,8      | -1,0              |

**Tabela** – Relação entre clorofila-a e feofitina-a, para o mês de novembro.

| ESTAÇÃO    | Chl-a | Feo-a | Chl-a ativa | Chl-a ativa:Feo-a |
|------------|-------|-------|-------------|-------------------|
| Mangal     | 1,7   | 289,7 | -288,0      | -1,0              |
| Ver-o-peso | 1,8   | 252,3 | -250,6      | -1,0              |
| Tamandaré  | 1,4   | 253,7 | -252,3      | -1,0              |
| Bombeiros  | 1,6   | 180,2 | -178,6      | -1,0              |
| CIABA      | 1,0   | 142,8 | -141,8      | -1,0              |
| Nassau     | 0,5   | 170,9 | -170,4      | -1,0              |