



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

ANDRESSA MOURÃO MIRANDA

**CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO ESTUÁRIO DO RIO MEREPE  
(PERNAMBUCO/BRASIL): BIOMASSA FITOPLÂNCTONICA E PARÂMETROS  
HIDROLÓGICOS**

Recife

2019

ANDRESSA MOURÃO MIRANDA

**CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO ESTUÁRIO DO RIO MEREPE  
(PERNAMBUCO/BR): BIOMASSA FITOPLÂNCTONICA E PARÂMETROS  
HIDROLÓGICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

**Área de concentração:** Oceanografia Biológica

**Orientador:** Prof. Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa.

Recife  
2019

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

M672c Miranda, Andressa Mourão.  
Condições ambientais do estuário do rio Merepe (Pernambuco/BR): biomassa fitoplânctonica e parâmetros hidrológicos / Andressa Mourão Miranda. - 2019.  
68 folhas, il., tabs., abr. e sigl.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2019.

Inclui Referências e Apêndice.

1. Oceanografia. 2. Clorofila *a*. 3. Fitoplâncton. 4. Estuário tropical. 5. Eutrofização.  
I. Feitosa, Fernando Antônio do Nascimento (Orientador). II. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG/2019-190

ANDRESSA MOURÃO MIRANDA

**CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO ESTUÁRIO DO RIO MEREPE  
(PERNAMBUCO/BR): BIOMASSA FITOPLÂNCTONICA E PARÂMETROS  
HIDROLÓGICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

Aprovada em: 19/02/2019.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa (Orientador)  
Presidente, Universidade Federal de Pernambuco

---

Dr. Marcos Honorato da Silva (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Dra. Raquel Correia de Assis Machado (Examinadora Externa)  
Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC)

---

Dr. Roberto Lima Barcellos (Substituto Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Dra. Marina Jalles Cavalcanti (Substituta Externa)  
Professora na rede municipal do Recife

## AGRADECIMENTOS

Chegou a hora de agradecer a todos que fizeram possível esse mestrado um momento de crescimento profissional, mas principalmente pessoal.

Ao meu porto seguro, Arthur Barbosa Burle. À minha mãe, Adriana Mourão, por todo o zelo, esforço sem os quais eu não teria chegado aonde cheguei. Ao meu pai, já falecido, mas sempre presente. Aos amigos mais maravilhosos que se pode ter nesse mundo, Quésia Cataldo, Olga Lisboa, Genil Mororó, Laís Brasileiro e Gabriel Bittencourt.

No DOCEAN, não tenho como sair sem agradecer a toda a equipe da administração, à Dona Edileuza pelos cafézinhos e carinho com todos, aos amigos Brenno e Jam, uma dupla e tanto. À minha turma do mestrado, pelos momentos de risada nos momentos de tensão.

Já dentro do LABFITO a admiração vai além do possível. Não tenho como começar esse parágrafo sem agradecer enormemente ao Prof. Fernando Feitosa, o famoso “Maguinho”; espero que o senhor continue sendo sempre essa pessoa feliz com a vida e obrigada por me receber de braços abertos.

Aos grandes professores, Profa. Maria da Gloria e Prof. Pedro Melo, pelas conversas e suporte paralelo. Ao melhor técnico da UFPE, quiçá do Mundo, Leandro Cabanez. À Laisa Madureira, Albenize Lima, Amanda Otsuka e Marcella Guennes, por terem me recebido tão bem.

Por fim, meu muitíssimo obrigado aos mestres Isaac Freitas e Hermes Ferreira de Paula, ao primeiro pela aula de competência e paciência e ao segundo pelas boas risadas e rabugice infinita!

Desde que cheguei no laboratório, em março de 2017, fui acolhida como se fosse de casa e isso não tem preço, obrigada pelos conselhos, elogios e, principalmente, pelas correções.

## RESUMO

Enquadrados no cenário de intenso crescimento econômico e demográfico das zonas costeiras, os estuários frequentemente são submetidos à graves impactos ambientais. O estuário do rio Merepe, localizado no nordeste brasileiro, é um bom exemplo deste processo. Sua hidrogeomorfologia sofreu alteração desde a construção do Porto de Suape (1980) e atualmente corresponde ao destino final de efluentes domésticos e industriais não tratados da zona urbanizada próxima. No presente trabalho, além dos parâmetros hidrológicos, a biomassa fitoplanctônica foi utilizada como peça chave para avaliar estado de qualidade ambiental do rio Merepe. As amostras foram coletadas em 2017 e caracterizadas sazonalmente, entre a estação chuvosa (junho, julho e agosto) e estiagem (outubro, novembro e dezembro); espacialmente, através de três estações de amostragem (foz, estuário-médio e interno) e, em função do regime de maré, durante o período de enchente e vazante. A sazonalidade foi fator predominante para a variação da biomassa algal do estuário, que é considerado raso (0–3.3 m) e baixa transparência (0.2–1.1 m). O estuário é predominante limnético, mas é possível detectar a variação da intrusão marinha, com salinidade entre concentrações não detectáveis 0.45 e 30.5 psu. A temperatura, típica de ambientes tropicais, exibiu mínimo e máximo de 24 e 31°C. O material particulado em suspensão apresentou baixos valores durante todo o período amostrado, com gradiente de variação entre 0.2 e 10.8 mg.L<sup>-1</sup>. Os níveis de oxigênio dissolvido estiveram entre 0.76 e 9.19 mL.L<sup>-1</sup>. Os nutrientes inorgânicos, com valores acima do esperado para o pequeno porte do estuário, oscilaram entre mínimos e máximos de 0.01 e 2,03 µM.L<sup>-1</sup> para a amônia, 0.01 e 8.15 µM.L<sup>-1</sup> para o nitrito, 0.01 e 43.3 µM.L<sup>-1</sup> para o nitrato, 0.45 e 5.9 µM.L<sup>-1</sup> para o fosfato e entre 27.4 e 196.4 µM.L<sup>-1</sup> para o silicato. Por fim, as concentrações de clorofila *a* total estiveram entre 0.185 µg.L<sup>-1</sup> e 29.9 µg.L<sup>-1</sup>, para a clorofila *a* fracionada os valores estiveram entre 0.01 e 16.5 µg.L<sup>-1</sup>, maiores concentrações ocorreram durante o período seco. A temperatura teve grande importância para a variação da biomassa no presente estudo, aspecto que o distingue da maioria de outros estuários localizados na mesma região, com efeito preponderante para a clorofila *a* fracionada (63). Baixos valores anuais constantes de oxigênio dissolvido e material particulado em suspensão sugerem a baixa qualidade de renovação das águas do estuário. O estuário do rio Merepe é raso, predominantemente limnético, possui baixa capacidade de transporte, elevadas concentrações de nutrientes inorgânicos, bruscas variações de oxigênio dissolvido e clorofila, indicando processo de eutrofização.

Palavras-chave: Clorofila *a*. Fitoplâncton. Estuário tropical. Eutrofização.

## ABSTRACT

Included in the intense economic and demographic development of coastal zones, estuaries are often subject to severe environmental impacts. The Merepe River estuary, located in northeastern Brazil, is a good example of this process. Its hydrogeomorphology has changed since the construction of the port of Suape (1980) and currently corresponds to the final destination of untreated domestic and industrial effluents from the nearby urbanized zone. In the present work, besides the other hydrological parameters, the phytoplankton biomass was used as key piece to evaluate the environmental quality of the Merepe river. Samples were collected in 2017 and characterized seasonally, between the rainy season (june, july and august) and drought (october, november and december); spatially, through three sampling stations (estuary, estuary-medium and internal) and, according to the tide regime, during the period of flood and ebb. Seasonality was a predominant factor for the variation of the estuarine algal biomass, which is considered shallow (0-3.3 m) and low transparency (0.2-1.1 m). The estuary is predominantly limnetic, but it is possible to detect the variation of the marine intrusion, with salinity between undetectable concentrations of 0.45 and 30.5 psu. The temperature, typical of tropical environments, showed minimum and maximum of 24 and 31°C. Suspended particulate matter presented low values throughout the sampled period, with a gradient of variation between 0.2 and 10.8 mg.L<sup>-1</sup>. The levels of dissolved oxygen were between 0.76 and 9.19 mL.L<sup>-1</sup>. Inorganic nutrients, with values higher than expected for the small estuary, ranged from minimum to maximum of 0.01 and 2.03 µM.L<sup>-1</sup> for ammonia, 0.01 and 8.15 µM.L<sup>-1</sup> for nitrite, 0.01 and 43.3 µM.L<sup>-1</sup> for nitrate, 0.45 and 5.9 µM.L<sup>-1</sup> for phosphate and between 27.4 and 196.4 µM.L<sup>-1</sup> for the silicate. The concentrations of chlorophyll a total were between 0.185 µg.L<sup>-1</sup> and 29.9 µg.L<sup>-1</sup>, for the fractionated chlorophyll the values were between 0.01 at 16.5 µg.L<sup>-1</sup>, higher concentrations occurred during the dry period. The temperature was very important for biomass variation in the present study, which distinguishes it from most other estuaries located in the same region, with a predominant effect on fractionated chlorophyll (63). Low constant annual values of dissolved oxygen and suspended particulate matter suggest the poor quality of the estuary's water quality. The estuary of the Merepe River is shallow, predominantly limnetic, has low transport capacity, high concentrations of inorganic nutrients, abrupt variations of dissolved oxygen and chlorophyll, indicating a process of eutrophication.

Keywords: Chlorophyll *a*. Phytoplankton. Tropical estuary. Eutrophication.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Localização do estuário do rio Merepe, Pernambuco-Brasil e respectivos pontos de coleta. Legenda: E1 – foz, E2 – médio-estuário e E3 – estuário-interno .....	48
Figura 2 –	Acumulado anual da precipitação pluviométrica (metros) para a estação Porto do Suape (APAC) no ano de 2017 .....	48
Figura 3 –	Associação hierárquica das amostras do estuário do rio Merepe .....	49
Figura 4 –	Matrix de correlação das variáveis ambientais .....	49
Figura 5 –	Análise de componentes principais dos parâmetros ambientais avaliados no estuário do rio Merepe .....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Recorte temporal e espacial do número de trabalhos publicados no tema da referida revisão bibliográfica .....	21
Tabela 2 – Análise univariada dos parâmetros ambientais no estuário do rio Merepe. Legenda: Min – mínimo; Máx – máximo; DP – desvio padrão .....	50
Tabela 3 – Comparativo entre estuários da costa sul de Pernambuco. Legenda: Mín – mínimo; Max – máximo; Prof – profundidade; MPS – material particulado em suspensão; OD – oxigênio dissolvido; CHLA – clorofila <i>a</i> total .....	51

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AL	Alagoas (estado brasileiro)
BA	Bahia (estado brasileiro)
BDMED	Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa
CAPES	Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior
CDB	Convenção da Diversidade Biológica
CE	Ceará (estado brasileiro)
CIPS	Complexo Portuário Industrial de Suape
CNUDM	Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar
CONDEPE/FIDEM	Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco
DEOLI	Departamento de Oceanografia e Limnologia
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DOCEAN	Departamento de Oceanografia
DOL	Departamento de Oceanografia e Limnologia
DSE	Departamento de Sistemática e Ecologia
ETE	Estação de tratamento de esgoto
FACEPE	Fundação de amparo a ciência e tecnologia de Pernambuco
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LABFITO	Laboratório de Fitoplâncton (UFPE)
LABMAR	Laboratório do mar (UFAL)
LABOGEO	Laboratório de Oceanografia Geológica (UFPE)
LABOMAR	Laboratório de Ciências do Mar (UFC)
LOQUIM	Laboratório de Oceanografia Química (UFPE)

MA	Maranhão (estado brasileiro)
MMA	Ministério do meio ambiente
MPS	Material particulado em suspensão
NE	Nordeste
PB	Paraíba (estado brasileiro)
PE	Pernambuco (estado brasileiro)
PI	Piauí (estado brasileiro)
REVIZEE	Avaliação do potencial sustentável de recursos vivos na Zona Econômica Exclusiva
Rio-92	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
RN	Rio Grande do Norte (estado brasileiro)
SE	Sergipe (estado brasileiro)
TRIX	<i>Trophic Index</i> (Tradução:.. Índice trófico)
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFMA	Universidade Federal do Maranhão
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFPI	Universidade Federal do Piauí
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFS	Universidade Federal de Sergipe

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
4.1	COLETA E ANÁLISE DE DADOS .....	20
4.1.1	<b>Parâmetro biológico .....</b>	<b>20</b>
4.1.2	<b>Parâmetros químicos .....</b>	<b>21</b>
4.1.3	<b>Parâmetros físicos .....</b>	<b>21</b>
4.1.4	<b>Dados meteorológicos .....</b>	<b>21</b>
4.1.5	<b>Tratamento estatístico .....</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>23</b>
5.1	VARIAÇÃO DA CLOROFILA A FITOPLANCTÔNICA EM AMBIENTES ESTUARINOS DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL ....	25
5.1.1	<b>Maranhão .....</b>	<b>25</b>
5.1.2	<b>Ceará .....</b>	<b>26</b>
5.1.3	<b>Rio Grande do Norte .....</b>	<b>27</b>
5.1.4	<b>Paraíba .....</b>	<b>27</b>
5.1.5	<b>Pernambuco .....</b>	<b>27</b>
5.1.6	<b>Alagoas .....</b>	<b>32</b>
5.1.7	<b>Sergipe .....</b>	<b>32</b>
5.1.8	<b>Bahia .....</b>	<b>33</b>

<b>6</b>	<b>CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO ESTUÁRIO DO RIO MEREPE, BRASIL: CLOROFILA A FITOPLANCTÔNICA E PARÂMETROS HIDROLÓGICOS .....</b>	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO GERAL .....</b>	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>56</b>
	<b>APÊNDICE A – DADOS COMPLEMENTARES .....</b>	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Aquecidas pelo intenso desenvolvimento socioeconômico as cidades litorâneas crescem e atraem grandes contingentes humanos. Esta sobrecarga, produto da distribuição demográfica desigual entre zonas rurais e costeiras (SMALL *et al.*, 2003), origina consequências negativas, sejam para os ecossistemas naturais ou para a própria zona urbana.

No Brasil, em censo realizado no período entre 1991 e 2000, aproximadamente 23% da população total ocupava a zona costeira (STROHAECKER, 2012), após uma década esta porcentagem aumentou para 26,6% (IBGE, 2011) e segue a tendência mundial de ocupação litorânea. Dentre os desafios atuais à sanidade ambiental podem ser citados a eutrofização, os efeitos tóxicos à saúde humana, a erosão costeira e variações climáticas (NRC, 1994).

Grande parte dos efluentes brasileiros não recebem pré-tratamento e são diluídos *in natura*. Prática, que sem rigor e monitoramento, finda por potencializar a degradação de corpos hídricos e promover fenômenos como a eutrofização, uma das principais razões de comprometimento da qualidade nos cursos fluviais do país (BARRETO *et al.*, 2013).

A eutrofização, causada pelo enriquecimento excessivo de matéria orgânica em corpos hídricos (CHISLOCK, 2018), ocorre também de forma natural como sintoma do envelhecimento do corpo hídrico, no entanto é frequente sua ocorrência como resultado da poluição por atividades antrópicas, também chamada eutrofização antrópica/artificial.

Além do florescimento algal, sintomas outros como anoxia na coluna d'água, elevada mortalidade dos organismos aquáticos e alteração das propriedades hidrológicas, tal qual odor ou coloração, sinalizam este fenômeno.

Dentre os ecossistemas costeiros, os estuários estão entre os mais ameaçados do mundo. Sua hidrodinâmica é consequência do regime semiaberto de interação com o ambiente marinho (PRITCHARD, 1967; ELLIOT *et al.*, 2014), influência que provoca bruscas variações de salinidade ao longo do ciclo de maré.

Em zonas tropicais normalmente ocorrem associados à vegetação de mangue, compondo ecossistemas denominados manguezais. Também amplamente reconhecidos por seu papel ecológico de berçário faunístico e pela alta produtividade biológica (MCLUSKY *et al.*, 2004).

Localizados à jusante das bacias hidrográficas, além do papel de corpos receptores de toda a matéria transportada pelo curso fluvial, sua proximidade da linha de costa os submetem à diferentes formas de impacto, como a presença de complexos portuários, a aquicultura e a exploração imobiliária (PINCKNEY *et al.*, 2001).

Todavia, como buscar a integração harmônica entre atividade humana e gestão da qualidade dos recursos hídricos? Princkney propõe que o primeiro passo é compreender quais alterações estão ocorrendo nos regimes hidrológicos e de nutrientes do estuário em questão. Estes ambientes, apesar do padrão característico, possuem funcionamento particulares que inviabilizam fornecer um padrão a ser seguido por todos.

Dentre os métodos disponíveis para avaliar as condições hidrológicas de um estuário, a análise da biomassa fitoplanctônica (UNESCO, 1966) é amplamente empregada pela comunidade técnico-científica. O emprego frequente desta técnica ocorre em função da elevada sensibilidade dos organismos fitoplanctônicos as mudanças em seu habitat.

O termo fitoplâncton denomina o grupo de organismos fotossintetizantes situados na zona fótica da coluna d'água, sejam as formas de vida isoladas, em colônia (THURMAN, 2004) ou simbiose com outros organismos. Estão na base da cadeia e, portanto, alterações naturais ou artificiais em seu equilíbrio afetam todo o resto da teia trófica.

A clorofila *a*, embora presente como indicador de qualidade ambiental em norma legislativa nacional (BRASIL, 2005), quando fornecida em relatórios ambientais nem sempre é trabalhada de forma integrada. A ausência de correlação com outros parâmetros ambientais e discussões mais aprofundadas impossibilitam que solucionar diversas incógnitas e uma visão mais ampla do ambiente avaliado.

De forma a suprir esta lacuna, diversas pesquisas são desenvolvidas em institutos nacionais, exercendo papel importante no diagnóstico e acompanhamento das condições dos estuários brasileiros. Pernambuco se destaca na região Nordeste (NE) pelo grande número de trabalhos realizados nos estuários estaduais.

Segundo o CONDEPE/FIDEM, o estado detém cerca de 24 mil km<sup>2</sup> de áreas de proteção ambiental e legislação específica no tema (Lei Estadual nº 9931/1986), ainda que não regulamentada (CPRH, 1996). No entanto, a região do Suape, área abordada neste presente trabalho, apesar da grande relevância econômica, enfrenta muitos dilemas socioambientais.

A bacia de Suape, composto por extenso manguezal e compreendida pelos rios Ipojuca, Merepe, Tatuoca e Massangana, foi alterada na década de 80 pela instalação do Complexo Portuário Industrial de Suape (CIPS). Em 2014, o Governo do estado promoveu a proposta de criação de Unidade de Conservação (UC) para os estuários dos rios Ipojuca e Merepe (PERNAMBUCO, 2014).

A documentação das propostas cita, dentre os aspectos biológicos, a vegetação característica de manguezais e descreve parte da fauna terrestre. A descrição das alterações

tem enfoque para a construção do CIPS e o despejo de resíduos sólidos, em específico, para o estuário do rio Merepe. No entanto, não são abordados dados hidrológicos pertinentes às condições do rio, detendo-se a descrição geral do ambiente.

## 2 OBJETIVOS

Os objetivos da presente dissertação foram subdivididos em objetivos geral e específicos.

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar a variação das concentrações de clorofila *a* total e fracionada, relacionando-as com outras variáveis ambientais e fornecer diagnóstico acerca do estado de eutrofização do estuário estudado.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a variação das variáveis ambientais em função da sazonalidade, espacialidade e regime de maré, identificando a força predominante para a dinâmica fitoplanctônica;
- Estabelecer diagnóstico em relação a eutrofização do estuário estudado.

### **3 JUSTIFICATIVA**

Uma vez que a produção científica busca não apenas compreender os fenômenos naturais, mas associá-los à problemáticas sociais, pondo a disposição da sociedade formas de solucioná-las, a análise de qualidade de ambientes estuarinos, essenciais à qualidade da zona costeira, além de contribuir para conhecer melhor a ecologia do estado de Pernambuco, permite identificar como as transformações antrópicas na bacia do rio Ipojuca estão repercutindo no meio ambiente e, a partir disto, fornecer os pontos chaves para possíveis ações de remediação e tomada de decisão por parte dos gestores ambientais locais. Visto que o estuário que já havia sido avaliado por outros pesquisadores, este estudo propõe um estudo mais detalhado, compreendendo estações de amostragem adicionais à montante do rio Merepe, a fim de acrescentar novas informações para a discussão vigente, uma vez que a área, já intensamente antropizada, requer cada vez mais atenção e intervenção por parte da comunidade e do Estado.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

As coletas foram realizadas no estuário do rio Merepe, no ano de 2017. As análises laboratoriais ocorreram nos dias subsequentes à amostragem.

### 4.1 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Seis campanhas foram realizadas durante os períodos sazonais chuvoso e estiagem, subdivididas em três meses representativos para cada estação. A estação chuvosa compreendeu os meses de junho, julho e agosto, enquanto a estiagem abrangeu os meses de outubro, novembro e dezembro.

As três estações indicadas na figura 01 correspondem ao perfil espacial analisado, sendo E1 representativo da foz, E2 do médio-estuário e E3 do estuário-interno. Através da coleta em ambos os períodos de enchente e vazante, buscou-se observar a influência da maré no referido estuário.

#### 4.1.1 Parâmetro biológico

As amostras de água, utilizadas para mensurar as concentrações de clorofila *a* total e fracionada<sup>1</sup>, foram coletadas utilizando uma garrafa de Kitahara (1L) na superfície da coluna d'água; sendo transferidas em seguida para bombonas (1L) e armazenadas em caixas térmicas. Para a filtração das amostras foram utilizados filtros de microfibras de vidro GF/F (Whatman), com volumes entre 250 e 1000 mL, esta variação se deu em função da quantidade de MPS para cada amostra. Aquelas destinadas à clorofila *a* fracionada foram submetidas a um processo de pré-filtração por uma malha de nylon de 20µm acoplada à um copo de PVC.

Por fim, na extração dos pigmentos de clorofila e análise espectrofotométrica (PARSONS; SCOR-UNESCO, 1966), os filtros foram condicionados em tubos de ensaio e preenchidos até 10 mililitros com acetona 90%, permanecendo 24°C a -18°C. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a uma frequência de 3000 rpm durante 10 minutos. O sobrenadante, nos tubos de ensaio, transferidos para cubetas de vidro e analisadas no espectrofotômetro (*Biochrom*, modelo Libra S4) nos comprimentos de onda 630, 645, 665 e 750 nanômetros. As concentrações de clorofila *a* foram obtidas a partir da equação proposta por Parsons and Strickland (1963) e expressas em µg.L<sup>-1</sup>.

---

<sup>1</sup> Fração fitoplanctônica menor que 20 µm (Omori and Ikeda, 1984).

#### 4.1.2 Parâmetros químicos

As amostras destinadas à análise do MPS, analisadas pelo método proposto pelo Instituto Woods Hole e descrito por Melo *et al.* (1975), foram primeiramente filtradas em filtros de acetato de 45 µm de diâmetro, em volumes fixos de 500 mL. O passo posterior consistiu na disposição dos filtros em placas de petri individuais e armazenamento em estufa durante 48 horas. A etapa final compreendeu a pesagem dos filtros.

O oxigênio dissolvido (OD) foi obtido a partir da disposição das amostras de água em frascos de Winkler, evitando a formação de bolhas, e para a fixação do gás oxigênio pela adição dos reagentes Cloreto de Manganês (5 mL) e Iodeto alcalino (5 mL), com posterior agitação para catalisação da reação. As amostras foram processadas no mesmo dia de coleta, segundo o método de Winkler apresentado por Strickland e Parsons (1972); as concentrações de OD expressas em ug.L<sup>-1</sup>.

A salinidade foi obtida *in situ* utilizando refratômetro (modelo *Atago*). Em relação aos nutrientes inorgânicos dissolvidos, as concentrações de amônia, nitrato, nitrito, fosfato foram analisados a partir do método de Strickland e Parsons (1972), enquanto o silicato foi determinado pelo método de Grasshoff *et al.* (2007), todos os resultados expressos em uM.L<sup>-1</sup>.

#### 4.1.3 Parâmetros físicos

A profundidade foi determinada utilizando cabo batimétrico; já a transparência da água foi obtida através de Disco de Secchi, ambos os parâmetros expressos em metros. A temperatura foi mensurada *in situ*, através de termômetro ecológico com escala interna entre -10 e 60°C. As alturas de maré foram fornecidas pelo Departamento de Navegação e Hidrografia (DNH) da Marinha Brasileira, utilizando como ponto de referência o CIPS.

#### 4.1.4 Dados meteorológicos

Dados meteorológicos foram fornecidos pela base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A filtragem de dados utilizada ocorreu pela seleção da estação convencional de Recife (Curado) – PE (OM:82900), com as seguintes coordenadas geográficas: Latitude -8.05°, Longitude: -34.96° e 10 metros de altitude, no período de tempo compreendido entre 01/1961 e 01/12/2017, para o parâmetro precipitação média.

#### 4.1.5 Análise de dados

Os dados foram analisados no *software* Rstudio v. 11.423. O nível de significância pré-estabelecido foi de  $\alpha = 0.05$  (95%), a normalidade verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, método de Spearman) e a variação analisada pelo teste de Welch's. Para as análises de

ordenamento, foi escolhido a representação através de dendograma, e como análise multivariada a análise de componentes principais (ACP).

## 5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O litoral nordestino representa 45% da extensão costeira total do Brasil e engloba nove estados, que apesar de compartilharem aspectos naturais, sociais, econômicas e culturais semelhantes, possuem suas particularidades, e dentre elas estão a dinâmica dos ambientes estuarinos, apresentando-se de forma diversificada e exigindo conhecimento específico para ações de manejo e manutenção.

Esta revisão busca compreender como o uso da clorofila *a* auxiliou na compreensão da qualidade ambiental e diversidade estuarina no NE. Embora a base de dados existente apresente volume considerável, o recorte estadual e temporal (Tabela 01) revela disparidade, importante de se compreender para o encaminhamento de futuros estudos.

Tabela 1 – Recorte temporal e espacial do número de trabalhos publicados no tema da referida revisão bibliográfica.

Década	Total (Déc.)	Unidade Federativa								
		MA	PI	CE	RN	PB	PE	AL	SE	BA
70-79	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0
80-89	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0
90-99	8	0	0	1	0	0	5	1	2	0
00-09	16	2	0	0	1	1	10	0	0	2
10-18*	20	2	0	1	1	0	14	2	0	0
<b>Total (UF)</b>		5	0	2	2	1	32	3	2	2
<b>Total (Geral)</b>						49				

Fonte: Próprio autor.

Os primeiros trabalhos em estuários nordestinos começaram na década de 70. A discreta crescente entre as décadas de 70 e 90 concorda temporalmente com importantes eventos em relação a atenção dedicada a zona costeira do país no direito internacional.

Por exemplo, criada em 1975 e ratificada em 1996, a Convenção de Ramsar<sup>2</sup> trouxe consigo maior atenção à região costeira pelas políticas públicas nacionais. O Ministério do Meio Ambiente (MMA), em seu site oficial, expõe alguns conceitos e a importância deste tratado para a preservação dos ecossistemas inseridos no conceito de áreas úmidas, dentre eles os estuários.

*“Áreas Úmidas são ecossistemas na interface entre ambientes terrestres e aquáticos, continentais ou costeiros, naturais ou artificiais, permanente ou periodicamente inundados ou com solos*

<sup>2</sup> Denominação popular da Convenção sobre Zonas Úmidas, tratado internacional.

*encharcados. As águas podem ser doces, salobras ou salgadas, com comunidades de plantas e animais adaptados à sua dinâmica hídrica (adaptado de Junk e colaboradores, 2013)”*

Em 1982, outra importante convenção orientou a atenção para a zona costeira brasileira, a Convenção das Nações Unidas sobre o direito do Mar (CNUDM), que trouxe diversos novos conceitos como o de águas interiores e ZEE (Beirão *et al.*, 2014). Reforçada pelo princípio 17 da Agenda 21, elaborada no Rio-92, a CNUDM evoca a responsabilidade com a preservação do meio ambiente, a redução dos impactos antrópicos, principalmente no tocante ao aumento crescente do esforço de pesca, assim como a preocupação com os estoques para a alimentação dos povos.

Na metade da década de 90, o governo brasileiro põe em prática o projeto Revizee, coordenado pelo MMA, com objetivo principal de construir uma base de dados sobre os recursos naturais presentes na zona marinha, como petróleo e gás, mas também em consonância com os princípios da Convenção de Diversidade Biológica (CDB), outra convenção ao qual o Brasil é parte integrante (MMA, 2006).

*“O Programa “Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva” – REVIZEE pretendeu atingir esse objetivo. Coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente, o Programa teve início em 1995 e contou com a participação de Ministérios, Universidades e Instituições de pesquisa; ao longo de pouco mais de dez anos, superando orçamentos limitados e meios flutuantes nem sempre adequados, analisou as pescarias brasileiras, avaliou estoques, realizou prospecções, e identificou e delimitou potenciais.”*

Embora o Revizee tenha como foco a plataforma continental e o ZEE, definida como espaço marítimo de 200 milhas a partir da linha de costa, não se enquadre na área de estudo deste trabalho (estuário), é importante ressaltar o grande passo em relação à preservação dos recursos litorâneos e articulação governamental no tocante a produção técnico-científica causado pelo projeto.

A distribuição desigual dos números de trabalhos entre os estados nordestinos (tabela 01) pode encontrar explicação na ausência de instituições que viabilizassem a abertura do espaço de pesquisas na área com outras demandas científicas. Ainda assim, dentre as universidades federais nordestinas, o movimento de crescimento da oceanografia apresenta um processo de fortalecimento.

Ao separar as publicações em função das universidades federais, o estado de Pernambuco concentra o maior número de trabalhos (32), representado pela UFPE, especificamente pelo Departamento de Oceanografia (DOCEAN), criado de forma pioneira na região nordestina no ano de 1973. Em segundo lugar se destaca o estado do Maranhão (5), da

UFMA, que após a reestruturação no ano de 1998, tem as pesquisas desenvolvidas pelo DEOLI, Departamento de Oceanografia e Limnologia.

Alagoas (3) é representado pelo LABMAR, na UFAL, criado a partir de uma reformulação administrativa interna em 2006. No mesmo ritmo de produção científica estão os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Sergipe e Bahia. No Ceará (2), O LABOMAR/UFC, criado em 1968, publicou o primeiro trabalho em 1999-2000, em estudo relativo às fontes de impacto e qualidade do meio oceanográfico local.

Já no Rio Grande do Norte (2), embora com departamento específico no tema, o Departamento de Oceanografia e Limnologia (DOL/UFRN) cujo histórico estava indisponível, apenas em 2013 sinalizava a criação de curso de graduação. Em Sergipe (2), destaca-se a base sólida em pesquisas oceanográficas direcionadas à análise geológica/sedimentológica. Por fim, a Bahia (2), oferece graduação e pós-graduação em oceanografia desde 2003.

Na Paraíba (1), a UFPB não dispõe de departamento específico para as temáticas oceanográficas, e as disciplinas no tema são ministradas dentro do Departamento de Sistemática e Ecologia (DSE). O único estado cuja busca não revelou nenhum trabalho acadêmico publicado no tema foi o Piauí (0). Neste Estado não há departamento específico em Oceanografia, sendo a temática abrangida pelo departamento de Biologia da UFPI.

A pesquisa oceanográfica em Piauí possivelmente é também influenciada por ser o único estado cuja capital está distante da faixa litorânea, o que dificulta o acesso. No entanto, há perspectiva de mudança, uma vez que no ano de 2018, a UFPI esteve no grupo de universidades ao utilizar o Navio Ciências do Mar II (UFPI, 2018).

## 5.1 VARIAÇÃO DA CLOROFILA A FITOPLANCTÔNICA EM AMBIENTES ESTUARINOS DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

Compor um perfil uniforme da dinâmica fitoplanctônica para os ambientes costeiros que serão apresentados nesta revisão bibliográfica se torna um trabalho árduo em função da grande variação dos ecossistemas estudados, ainda que para a mesma região do país.

A plasticidade, habilidade característica de ambientes estuarinos, origina a grande diversidade dos estuários e a ratifica a necessidade de constante monitoramento para manutenção da sua qualidade. Além disso, a variação nas concentrações de clorofila *a* (Tabela 05) só podem ser analisadas após conhecer as particularidades citadas.

### 5.1.1 Maranhão

Teixeira *et al.* (1988) foram pioneiros na elaboração de pesquisas relacionadas à produtividade primária e biomassa algal (Tabela 02) no estado. Através da avaliação do

Estreito dos Coqueiros, sistema estuarino-lagunar localizado na porção central do Golfão Maranhense, o regime de maré foi apontado como principal força na dinâmica da biomassa fitoplanctônica.

Embora o ecossistema tenha apresentado alta capacidade produtiva fitoplanctônica, o aumento da turbidez comprometeu o desenvolvimento fitoplanctônico. A grande vazão dos rios maranhenses, o elevado aporte de material continental e o regime de macromaré, aspecto que distingue os estuários desta região, são essenciais para entender a dinâmica local.

As mesmas considerações são feitas por Rodrigues *et al.* (2010) ao avaliar três ecossistemas da costa maranhense, apontando também a importância do regime de maré na ecologia dos ambientes avaliados. Sua pesquisa propiciou a compreensão da contribuição das diferentes frações dos organismos fitoplanctônico, predominando a fração menor que 20  $\mu\text{m}$ .

Carvalho *et al.* (2016) se propuseram a avaliar o microfitoplâncton e a clorofila *a* da plataforma continental do Maranhão. Seu estudo observou um padrão sazonal definido, com maior atividade fitoplanctônica durante a estiagem. Os autores indicam que a ausência de dados para comparação na região inviabiliza conclusões mais precisas acerca das condições ambientais locais.

Por fim, no estuário do rio Paciência, Cavalcanti (2017) destaca a sazonalidade como principal fator de estruturação espacial e, conseqüentemente, da composição e produtividade fitoplanctônica no estuário. O período chuvoso e o conseqüente aumento da turbidez limitaram o crescimento fitoplanctônico do ambiente.

### **5.1.2 Ceará**

No rio Cocó, o regime de maré atuou como força motriz da variação da biomassa fitoplanctônica local (MOREIRA, 1994). A grande intrusão marinha é influência a atividade de produção de sal marinho, pela presença de salinas. O estuário apresentou baixa profundidade e vazão, características que o condicionariam à uma baixa produtividade, no entanto os altos valores encontrados indicaram progressivo estado de eutrofização do ambiente, conclui o autor.

No estuário do rio Jaguaribe, Eschrique (2011) destaca as alterações no padrão hidrológico do curso fluvial em função da presença de barragens à montante do rio. O estado é conhecido por grandes obras de infraestrutura, visando o abastecimento da população com água potável, em função das secas periódicas. Dentre os resultados ocorreu forte correlação positiva entre a clorofila *a*, temperatura e oxigênio dissolvido, reafirmando a influência marinha para a dinâmica fitoplanctônica local.

### 5.1.3 Rio Grande do Norte

Santiago *et al.* (2005), ao avaliar o estuário do rio Pisa Sal, identificou que a dinâmica estuária é dirigida principalmente pelo regime de maré, classificando-o como hipersalino e com fraca influência fluvial.

Segundo os autores, ainda que a carcinicultura seja a principal fonte de impacto ambiental para o ecossistema, estando a contribuir consideravelmente para a categorização do mesmo como ambiente eutrofizado, satisfatórios teores de oxigênio supõe uma boa qualidade das águas locais e afirmam a importância da intrusão marinha na amortização da poluição orgânica.

Para Tavares *et al.* (2014), que aplicaram o método TRIX na avaliação da eutrofização do estuário do rio Potengi, a obtenção de baixas concentrações de oxigênio dissolvido, independentemente do regime de maré, e o padrão observado para a biomassa com tendência positiva nos meses de estiagem, foram indícios importantes da má qualidade das águas do estuário. Os autores ressaltam que ausência de uma série de dados em relação ao comportamento do ambiente compromete a elaboração e eficácia de projetos de recuperação local.

### 5.1.4 Paraíba

Cavalcanti (2003) realizou avaliação de três estuários (rios Paraíba do Norte, Mandacaru e Tambiá) e de viveiros de camarão marinho na região, utilizando como um dos parâmetros de qualidade a clorofila *a*.

O autor identificou padrão sazonal definido nos estuários, com maiores valores de biomassa algal entre o final da estação chuvosa e início da estiagem. Todos os ambientes avaliados estão submetidos ao despejo de poluentes orgânicos provenientes dos municípios que margeiam os cursos fluviais.

### 5.1.5 Pernambuco

Passavante (1979), ao estudar o canal de Santa Cruz, conclui que a produtividade fitoplanctônica, assim como a biomassa, modificou-se principalmente em função da sazonalidade.

As altas concentrações ocorreram durante os meses com maior quantidade de chuvas. Nutrientes limitaram a produtividade local durante a estiagem. Nas diversas estações avaliadas, não foram encontrados indícios de poluição orgânica.

Publicado em 2009, relatório do Ibama acerca da qualidade das águas compoendo o sistema estuarino do Canal de Santa Cruz, o mesmo avaliado por Passavante (1979), apresenta

concentrações de clorofila *a* maiores do que as registradas anteriormente, sugerindo possível processo de eutrofização.

No estuário do rio Botafogo, ao norte do Canal de Santa Cruz, Passavante e Koenig (1984) não visualizaram padrão sazonal ou espacial para a biomassa fitoplanctônica, apenas alguns picos de concentrações mais altas relacionadas a estação de maior pluviosidade.

O nitrogênio atuou como nutriente limitante no estuário, apresentando déficit e ausência de variação sazonal que, na visão dos autores, é causada pela rápida assimilação dos organismos em função da carência do ambiente. A região foi classificada como eutrófica, com presença de poluição orgânica. Cita-se a presença de descargas provenientes de usinas açucareiras da região. No rio Jaguaribe observou-se nítido perfil sazonal, com maiores concentrações de clorofila *a* durante o período chuvoso (SANTOS-FERNANDES *et al.*, 1998).

Feitosa *et al.* (1999) ao avaliar o estuário do rio Goiana indicou que o ambiente é predominantemente marinho, com gradiente de poluição decrescente do estuário interno à foz, assim como para as concentrações de biomassa. O autor aponta impactos antrópicos derivados da atividade industrial açucareira da região como principal estressor do ambiente.

Na Bacia do Pina, Nascimento *et al.* (2000), identificou o nitrogênio como principal limitante do crescimento fitoplanctônico, com forte influência marinha mesmo durante os períodos de baixa-mar. Contudo, os maiores valores de biomassa são produzidos na porção predominantemente fluvial, demonstrando a importância desta para a dinâmica local. Os autores salientam a presença de poluição orgânica em função das atividades antropogênicas e o classificam como eutrófico.

Embora o enfoque de Magalhães (2014) tenha sido em relação a produtividade secundária de copépodes na Bacia do Pina, a autora obteve concentrações de clorofila *a* da região e pode observar que estavam, no geral, associados aos regimes de maré durante o período de quadratura, sendo inferiores aos valores obtidos por outros autores na mesma região.

Em Barra das Jangadas, Branco (2001) constatou que a maré atuou como principal forçante para modificação dos parâmetros avaliados. A autora destaca a correlação inversa entre temperatura e biomassa. Maiores concentrações de clorofila *a* foram identificados durante o período chuvoso. O estuário apresentou sintomas de ambientes sujeitos ao impacto antrópico.

Nos estuários dos rios Ilhetas e Mamucabas, sul do estado, Losada (2000) destaca a forte correlação negativa entre clorofila *a* e salinidade, salientando a importância da fração limnética para a produtividade fitoplanctônica local.

Em relação ao fator sazonal, as concentrações foram maiores durante a estiagem. Os autores indicam ausência de poluição orgânica no ecossistema.

No rio timbó, embora Grego *et al.* (2004) tenham observado maiores concentrações de clorofila *a* durante o período seco, os autores destacam que os altos picos visualizados durante o período chuvoso mascaram o valor da mediana encontrada.

O grande aporte de material particulado em suspensão é intensificado pelas ações de dragagem comuns na região. O ecossistema sofre efeito da poluição orgânica derivada das atividades antropogênicas locais.

Após uma década, em novo estudo desenvolvido por Feitosa *et al.* (2014) no estuário do rio Timbó, reafirmam-se os processos sedimentares como essenciais para a compreensão da dinâmica ecológica local. Os autores salientam que o nível de poluição aumenta gradualmente com o *input* constante de efluentes não-tratados na bacia.

O rio Formoso, quando estudado por Silva *et al.* (2009), apresentou maiores valores de biomassa algal durante períodos de maior concentração de chuvas, não sendo a luz o fator limitante para a comunidade fitoplanctônica. O regime de maré contribui na renovação das águas, permitindo a manutenção de valores adequados de oxigênio dissolvido no estuário.

Em 2016, Lima abordou a mesma região do rio Formoso, detendo-se à porção de maior influência marinha, o que permitiu visualizar intrusão marinha como importante forçante deste estuário. A pluviosidade atuou de forma sensível, mas a maior concentração de clorofila *a* ocorreu durante o período de estiagem. A autora destaca ainda que os baixos teores para biomassa e nutrientes dissolvidos se enquadram no perfil de rios com baixa vazão.

Além disso, o padrão de biomassa algal observado por Lima (2016), foi reduzido em até quatro vezes em comparação aos valores obtidos por Silva *et al.* (2009) e, ainda segundo a autora, devem-se provavelmente ao melhor tratamento empregado pelas estações de tratamento de esgoto (ETE) instaladas à montante do estuário.

Bastos *et al.* (2005), no estuário do rio Una, identificaram que o regime sazonal exerce a maior influência para a produção fitoplanctônica. Maiores teores de clorofila *a* durante o período chuvoso, correlação positiva com o material particulado em suspensão (MPS) e valores altos para o oxigênio dissolvido indicaram um ambiente livre de poluição orgânica.

Estudando o rio Ariquindá, Grego *et al.* (2009) não encontrou indícios de poluição orgânica no estuário. Os autores destacaram a correlação inversa para o silicato e a biomassa, indicando a importância do nutriente para a comunidade fitoplanctônica local.

A geomorfologia do estuário destacou-se no trabalho, diferenciando-o como um rio pequeno, de baixa vazão, com baixas concentrações de nutrientes e com regime controlado principalmente pela maré.

Silva (2009) aponta o regime de maré e sua capacidade de renovação das águas como o principal fator dinamizador dos parâmetros avaliados no estuário do rio Sirinhaém, incluindo a biomassa fitoplanctônica. Maiores concentrações de clorofila foram observadas na porção interna do estuário, em função da maior quantidade de nutrientes provenientes da porção continental.

O autor indica ainda que a área sofre impactos antrópicos como dragagens e despejo de efluentes não-tratados, que reduz a transparência da coluna d'água e provoca a redução da produtividade fitoplanctônica, determinante para o estado de má qualidade das águas do estuário.

O estuário do rio Maracaípe (BASTOS *et al.*, 2011) apresentou características típicas de ambientes livres de poluição orgânica. A sazonalidade e o regime de maré foram os fatores significativos e de principal importância para a dinâmica local, com maiores concentrações de clorofila *a* durante a estação chuvosa e baixa-mar.

Aquino *et al.* (2012) avaliou a qualidade do estuário do rio dos Passos, tributário do rio Formoso e constatou que a sazonalidade, embora esperada como fator importante em áreas tropicais, não se destacou como delimitadora do comportamento produtivo do rio, maiores concentrações ocorreram nas porções internas do estuário, demonstrando a relação inversa com a salinidade.

Através de amostras sedimentares e buscando avaliar o efeito da eutrofização na biologia do caranguejo *Uca leptodactyl*, o trabalho realizado por Silva (2013) destaca-se pela utilização da biomassa do microfitobentos.

A integração deste tipo de clorofila *a* e a comparação com outros parâmetros normalmente não utilizados em estudos da área, levou-o a alguns resultados distintos, demonstrando a diversidade de formas de se acessar e avaliar estes ambientes estuarinos.

No porto do Recife, o estuário do rio Capibaribe apresentou condições típicas de ambientes eutrofizados. Santiago *et al.* (2010) destaca a intensa relação entre o rio, o porto e o município de Recife (capital do estado) na promoção dos impactos que reduzem a qualidade

das águas avaliadas. O regime sazonal apresentou correlação inversa entre teor de clorofila e precipitação.

Estudando a pluma dos estuários dos rios Capibaribe e Beberibe, no porto do Recife, Cordeiro *et al* (2014) observam que a pluviosidade atuou como a principal forçante para a variação do ecossistema.

A maior disponibilidade de nutrientes pelo aporte continental foi fundamental para o crescimento fitoplanctônico. Os autores atentam para as altas concentrações de amônia e fosfato, indicativos que despejo de efluentes domésticos promovendo a eutrofização local.

Embora apenas com um ponto na zona estuarina, o trabalho realizado por Otsuka *et al.* (2016) permite visualizar o efeito da intrusão marinha na qualidade da água, carga de nutrientes e produtividade fitoplanctônica.

Durante a estação seca a biomassa algal teve tendência crescente, destacando a turbidez/elevada carga de material particulado em suspensão e nutrientes durante a época chuvosa como fator limitante, com redução da zona eufótica e, conseqüentemente, da concentração de clorofila *a*.

Já com enfoque para o Carbono e Nitrogênio orgânico das plumas dos rios Capibaribe e Jaboatão, Travassos (2016) destaca que para ambos os estuários avaliados a sazonalidade foi o fator predominante, e que maiores picos de clorofila *a* em períodos secos é característico de ambientes sob impacto antrópico.

Esta abordagem permitiu a autora identificar que a maior parte do material orgânico é alóctone e continental e que a elevada produção algal encontrada deriva da eutrofização que ocorre nos estuários estudados.

Ainda avaliando o estuário do rio Capibaribe, Borges (2016) conclui que não há espacialidade significativa para a biomassa algal. A autora compara ainda o ambiente pré e pós a atividade de dragagem na região, constatando ausência de diferença significativa na concentração de clorofila *a* e alterações na diversidade e composição das comunidades fitoplanctônica.

Por fim, Silva (2017) detém foco na composição da comunidade fitoplanctônica e no crescimento de células, mas através da análise de clorofila também conclui que o ambiente do estuário do rio Capibaribe se encontra hipereutrofizado e que o forte impacto na região altera substancialmente a variação espacial, sazonal e celular dos organismos fitoplanctônicos.

Flores-Montes e Batista (2013) através do método TRIX avaliam a qualidade do estuário dos rios Ipojuca-Merepe, área também do presente trabalho. Utilizando a concentração de clorofila, os autores concluem que o ambiente apresenta sinais de forte

impacto antrópico pela elevada carga de nutrientes e pelas alterações na hidrogeodinâmica local.

No estuário do rio Carrapicho (CASTRO *et al.*, 2014) foi a pluviosidade o fator com maior interferência na dinâmica local, com baixas concentrações de nutriente e biomassa algal, os autores consideraram o estuário ainda em bom estado de conservação.

Cordeiro (2017), ao analisar os estuários do rio Massangana e Tatuoca, localizados à direita do CIPS, conclui que a pluviometria e o regime de maré são forçantes importantes para a dinâmica local.

Após as transformações na circulação hidrológica local, a maior intrusão marinha alterou o padrão de produtividade algal da região, evidenciados pela oligotrofia e o e preponderância do silicato dentre os nutrientes inorgânicos. Os impactos antrópicos decorrentes da área acarretam em uma redução da produtividade local.

Em Pernambuco, naturalmente é a sazonalidade força motriz da dinâmica dos estuários. O nitrogênio é apontado por diversos estudos como o fator limitante para os organismos fitoplanctônicos.

Grande parte dos estuários são considerados mesotróficos/eutróficos, não estando relacionados necessariamente à eutrofização. O impacto em função das indústrias açucareiras é destacado inúmeras vezes, indicando um déficit de atenção a esta problemática no estado.

#### **5.1.6 Alagoas**

Cotovitz Jr. (2012) estudou a aplicação de diversos métodos de classificação quanto à eutrofização de corpos hídricos. Avaliando as lagoas costeiras e canais Manguaba e Mundaú, o autor conclui ausência de variação sazonal, sendo a grande concentração de pigmentos fotossintéticos característicos do ano todo.

O padrão de biomassa algal atuou como sintoma primário do processo de eutrofização nos ecossistemas avaliados. Grande aporte de material em suspensão e nutrientes foram associados à má qualidade das águas.

#### **5.1.7 Sergipe**

Avaliando o sistema estuarino Piauí-Fundo-Real (SE), Souza (1996) observou variação espacial da biomassa fitoplanctônica, com ênfase para ausência de correlação entre a clorofila *a* e o MPS, cuja teoria indicaria um aumento proporcional.

Souza (1999) constatou um gradiente decrescente da biomassa fitoplanctônica do montante à jusante no estuário do rio Piauí. Pela primeira vez nesta revisão bibliográfica o

fosfato se destacou como nutriente limitante, enquanto formas inorgânicas nitrogenadas foram encontradas em abundância no ambiente.

Como o trabalho destinava-se a avaliar o sistema do carbono no estuário, o autor aborda de forma parcial o estudo do fitoplâncton, mas salienta o papel do microfitobentos no ambiente.

#### **5.1.8 Bahia**

A biomassa algal do estuário do rio Cachoeiras possui regime sazonal bem definido, com maiores concentrações durante o período chuvoso. A sazonalidade e a espacialidade exercem papel importante no ambiente (SILVA, 2007).

Em outro estudo novamente conduzido no estuário do rio Cachoeiras, Souza *et al.* (2009) reafirma os resultados obtidos por Silva (2007), conferindo destaque para a alternância dos nutrientes limitantes em função da sazonalidade (fósforo e o nitrogênio), a disponibilidade insuficiente de silicato como outro nutriente a interferir no desenvolvimento do fitoplâncton e a predominância fluvial na dinâmica estuarina.

## **6 CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO ESTUÁRIO DO RIO MEREPE, BRASIL: CLOROFILA A FITOPLANCTÔNICA E PARÂMETROS HIDROLÓGICOS**

Submetido em janeiro de 2019 para a revista *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom (JBMA/UK)*, o artigo científico se encontra nas normas de formatação da referida revista.

### **Resumo**

Inseridos em um contexto de intenso crescimento demográfico e econômica das zonas costeiras, os estuários frequentemente estão sujeitos à graves impactos ambientais. O estuário do rio Merepe, localizado no Nordeste brasileiro, é um excelente exemplo deste cenário. Sua hidrogeomorfologia foi alterada em função da construção do Complexo Industrial Portuário de Suape (CIPS) na década de 1980, além de ser o destino final do esgoto doméstico e industrial não tratado das cidades em seu entorno. Esta pesquisa combina parâmetros hidrológicos e os integra a análise da biomassa fitoplanctônica como ferramenta para avaliar a qualidade da água deste ecossistema. As coletas foram realizadas no ano de 2017, com desenho amostral delineado a caracterizar a sazonalidade, compreendendo o período chuvoso (junho, julho e agosto) e o período de estiagem (outubro, novembro e dezembro), a espacialidade através de três estações de amostragem (foz, estuário-médio e interno, respectivamente E1, E2 e E3), e por fim o regime de maré a partir da mensuração das variações em dois momentos, vazante e enchente. A sazonalidade foi o fator preponderante para a variação da biomassa algal, com aumento desta durante o período de estiagem. Os parâmetros físicos locais caracterizaram o ambiente como raso ( $1.72\text{m} \pm 0.35$ ) e com baixa transparência ( $0.6\text{m} \pm 0.03$ ). Os nutrientes inorgânicos exibiram concentrações altas em relação ao pequeno porte do estuário, no qual foi significativa a variação sazonal do nitrato ( $p = 0.02$ ) e nitrito ( $p = 0.02$ ). De forma inesperada, quando comparado à ecologia de outros estuários da mesma região, estabeleceu-se forte correlação entre a clorofila a e a temperatura, sendo mais expressiva para a clorofila fracionada (+63). Baixos níveis de oxigênio dissolvido (OD) sugeriram baixa qualidade da água do estuário, atingindo momentos próximos à apoxia ( $0.76 \text{ ml.L}^{-1}$ ). A influência limnética é predominante no sistema avaliado, o estuário possui pequena capacidade de transporte, altas concentrações de nutrientes inorgânicos e baixas de oxigênio dissolvido, além de bruscas variações da biomassa algal, sugerindo severo processo de eutrofização.

Palavras-chave: Biomassa fitoplanctônica; estuários tropicais; eutrofização; impacto antrópico; estuários rasos; impactos portuários; baixa qualidade hídrica.

### **INTRODUÇÃO**

Estuários são ecossistemas costeiros resultantes do encontro, seja livre ou intermitente, entre os ambientes marinho e fluvial (Elliott and Mclusky, 2002). A brusca variação dos parâmetros hidrológicos em um curto espaço de tempo é normalmente apontada como sua principal característica, mas para os estuários situados na zona tropical, a distribuição

pluviométrica desigual se destaca como aspecto fundamental para compreensão da dinâmica ecológica local (Rajkumar *et al.*, 2009).

O desenvolvimento de grandes centros urbanos em zonas costeiras e a degradação ambiental estão comumente associados, visto que no geral ocorrem na ausência de ordenamento territorial apropriado, provocando severas modificações aos ecossistemas naturais (Bordon *et al.*, 2016).

Em estuários tropicais e subtropicais, a contaminação dos corpos hídricos pelo despejo de esgoto não-tratado é um grave problema a ser considerado; que ocasiona perda da capacidade recreacional, uma vez que atuam como provedores de serviços ambientais para a sociedade, além de alterações na biodiversidade local e fenômenos como a eutrofização (Blaber *et al.*, 2008)

Tratando-se de ecossistemas tão ameaçados, a avaliação de sua qualidade é necessária para qualquer forma de manejo que busque monitoramento ou recuperação. Dentre os métodos existentes está a avaliação da biomassa fitoplanctônica, através das concentrações de clorofila *a*, com longo histórico de uso como indicador ambiental.

O fitoplâncton oferece rápida resposta à alterações ambientais (Boyet *et al.*, 2009), o que permite avaliar a ocorrência de processos de eutrofização ou efeitos tóxicos em cursos hídricos (Berkman and Canova, 2007). A aplicabilidade destes organismos é ainda adequada à questões ambientais contemporâneas, como aponta Wainger *et al.* (2017), quando propõe como ferramenta para avaliação da resiliência oceânica frente aos efeitos da mudança climática.

O fitoplâncton localizado em ecossistemas de baixa latitude possui a peculiaridade de mais fortemente influenciado pelos parâmetros pluviométricos (Feitosa *et al.*, 1999; Grego *et al.*, 2009). Para o estado de Pernambuco, no Brasil, a estação chuvosa coincide com elevações nas concentrações de clorofila *a*, uma vez que o aporte continental provê maior carga de nutrientes.

Em censo brasileiro conduzido entre 1991 e 2000, revelou-se que aproximadamente 23% da população ocupava a zona costeira (Strohaecker, 2009), essa porcentagem aumentou para 26,6% após uma década (IBGE, 2013), seguindo a tendência global de ocupação de áreas litorêneas. E como exemplo dos impactos já citados, o estuário do rio Merepe também está sujeito à fortes estresses, derivados principalmente da contaminação por esgoto doméstico, industrial e portuário.

Cientes da grau de intervenção antrópica na lista de costa do município de Ipojuca, o estuário do rio Merepe, inserido na bacia do rio Ipojuca, já havia sido anteriormente avaliado,

sendo ora considerado fortemente eutrofizado (Valença e Santos, 2012) ora como um ambiente oligo-mesotrófico (Silva, 2013). A divergência de diagnósticos, no entanto, além de impossibilitar avanços em tomadas de decisão com cunho ambiental, supõe que a integral dinâmica deste estuário ainda não é bem compreendida pela comunidade científica.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Seis campanhas foram realizadas no ano de 2017, durante os períodos sazonais chuvoso e estiagem, subdivididas em três meses representativos para cada estação. A estação chuvosa compreendeu os meses de junho, julho e agosto, enquanto a estiagem abrangeu os meses de outubro, novembro e dezembro.

As três estações indicadas na figura 01 correspondem ao perfil espacial analisado, sendo E1 representativo da foz, E2 do médio-estuário e E3 do estuário-interno. Através da coleta em ambos os períodos de enchente e vazante, buscou-se observar a influência da maré no referido estuário.

### Área de estudo

O rio Merepe é um rio litorâneo (Fig. 1) com extensão de dezoito quilômetros. Após atingir a planície costeira, o curso fluvial assume trajetória paralela a linha de costa, unindo-se ao exutório do rio Ipojuca, os quais desabam juntos no oceano atlântico, ao sul do Complexo Industrial Portuário do Suape (CIPS).

O CIPS, construído na década de 80, transformou fortemente a paisagem local. Grandes extensões de manguezal foram retirados para construção da infraestrutura do porto; além disso, a baía de Suape, antes compreendida pela junção dos estuários do rio Merepe, Ipojuca, Massangana e Tatuoca, tornou-se obstruída pela presença do complexo.

Em função da perda da conexão com o ambiente marinho e buscando restabelece-la, foram realizadas uma série de detonações nos arrecifes localizados próximos a desembocadura do sistema estuarino Ipojuca-Merepe, para abertura de um vertedouro.

Na bacia do rio Ipojuca, as vocações prioritárias de uso são a agricultura e a pesca de subsistência, principalmente pelas comunidades de Cabo do Santo Agostinho e Ipojuca (Moretti and Cox, 2016). Esta região possui estações sazonais fortemente demarcadas, com período chuvoso entre os meses de Maio à Agosto, e estiagem entre Setembro e Fevereiro.

De acordo com a classificação Köppen, o clima é AS' tropical (Manso *et al.*, 2006b), com regime pluviométrico entre 1850 a 2364 milímetros anuais, temperatura média anual de 24°C, alta umidade relativa do ar (80%) e predominância de ventos de sudeste.

### **Parâmetros biológicos, químicos e físicos**

As amostras foram coletadas na camada superficial da coluna d'água utilizando uma garrafa de Kitahara (1L). Foram determinadas as concentrações de clorofila *a* total e fracionada, esta última correspondente à fração menor que 20  $\mu\text{m}$  (Omori and Ikeda, 1984), através da filtração (GF/F – Whatman) e análise espectrofotométrica (UNESCO, 1966); as concentrações foram expressas em  $\mu\text{g. L}^{-1}$  e obtidas a partir da equação proposta por Parsons and Strickland (1963).

O material particulado em suspensão (MPS) foi analisado pela técnica proposta pelo Instituto Woods Hole e descrito por Melo et al. (1975), com resultados expressos em  $\text{mg.L}^{-1}$ . Para o oxigênio dissolvido (OD), a fixação e análise seguiram o método de Winkler descrito por Strickland and Parsons (1972) e os resultados expressos em  $\text{ml.L}^{-1}$ .

Os nutrientes inorgânicos dissolvidos determinados foram N-amônia, N-nitrito, N-nitrato, fosfato, através do método de Strickland and Parsons (1972), e silicato pela técnica de Grashoff et al. (2007). A salinidade foi obtida *in situ* utilizando refratômetro (modelo Atago). A profundidade (m) e transparência (m) foram obtidos respectivamente utilizando cabo batimético e disco de Secchi. A temperatura foi mensurada *in situ* através de termômetro ecológico.

A base de dados meteorológicos foi fornecida pela Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC), adotando a pesquisa foi Ipojuca (Suape) – PCD como estação de referência. Dados referentes à altura de maré foram fornecidos pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil, tendo como ponto de referência o porto de Suape.

### **Análise de dados**

Utilizou-se o software RStudio v.1.1.423. Na análise univariada, o nível de significância pré-determinado foi de 0,05 (95%); a normalidade foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk (Spearman) e posteriormente testada pelo teste de Welch. Por fim, análises multivariadas e de ordenamento foram adotadas para melhor explicação dos dados.

## **RESULTADOS**

O acumulado da precipitação mensal no de 2017 (Fig. 2) demonstrou sazonalidade consistente com o padrão descrito na literatura. A máxima de 548,4 milímetros (mm) foi registrada no mês julho, enquanto o mínimo de 11 mm ocorreu no mês de novembro.

A extensão do estuário amostrada abrangeu a variação do estuário de limnético até a zona marinha, a salinidade variou entre ND e 30,5 psu (Tab. 2); a profundidade variou entre 0,75 metros (m) e 3,3 m (Tab. 2), o parâmetro variou significativamente em relação a sazonalidade e espacialidade.

A transparência foi maior durante o período de estiagem (0,8 m), variando significativamente apenas em função da sazonalidade (Tab. 2). Para o MPS, as concentrações distinguiram significativamente as estações E1 e E3, e ainda que sazonalmente inexpressivo, a maior mediana ocorreu durante o período de estiagem ( $4,55 \pm 2,13 \text{ mg.L}^{-1}$ ). A temperatura esteve dentro do padrão climático esperado, com gradiente de 24 à 31 °C e variação sazonal significativa.

As concentrações de oxigênio dissolvido (OD) obtiveram respectivamente mínimo e máximo de 0,76 e 9,19  $\text{ml.L}^{-1}$  (Tab. 2), com variação significativa em função da espacialidade e regime de maré. No que se refere aos nutrientes inorgânicos dissolvidos (NID's), a forma N-nitrato foi a forma nitrogenada com maiores concentrações registradas (Tab. 2) e sendo influenciada exclusivamente pela variação sazonal, assim como o N-nitrito. A N-amônia obteve os menores valores registrados, variando somente em função da espacialidade (Tab. 2)

O fosfato variou em função da espacialidade, distinguindo as estações E2 e E1. Já o silicato obteve valores discretamente maiores durante o período chuvoso (Tab. 2), mas não exibiu variação significativa para nenhum dos fatores avaliados. A clorofila *a* exibiu oscilou em função da sazonalidade, para ambas as frações. Os valores mínimos e máximos para a clorofila total foi de 0,18 e 29,19  $\mu\text{g.L}^{-1}$  (Tab. 2), e ND e 16,5  $\mu\text{g.L}^{-1}$  para a clorofila fracionada. Concentrações mais altas ocorreram durante o período chuvoso.

A partir do ordenamento das amostras coletadas é possível distinguir o funcionamento do estuário do rio Merepe em dois ambientes distintos, representados na Figura 2 pelos grupos G1 e G2. O estuário, predominantemente influenciado pelo aporte continental e maior similaridade entre as estações E2 e E3, concentra a maioria dos dados registrados no grupo G1 (25 amostras), restringindo as amostras com maior influência marinha ao grupo G2 (11 amostras).

A síntese das correlações entre os parâmetros ambientais do estuário avaliado (Fig. 4) revelam correlação moderada e positiva entre a clorofila *a* total e o MPS (31%), padrão inverso entre MPS e N-nitrato (-38%) e positivo entre N-nitrato e fosfato (36%).

Há ainda correlação positiva entre as concentrações de clorofila *a* fracionada e os dados de transparência (30%), indicando que forças distintas atuam no funcionamento das diferentes frações fitoplanctônicas analisadas.

A clorofila *a* fracionada exhibe ainda padrão inverso às concentrações de N-nitrito (-36%). E, enquanto o N-nitrito exhibe o mesmo padrão de oscilação que a profundidade (35%), este último está inversamente proporcional à temperatura (-35%).

As correlações fortes distinguem ambas as influências marinhas e continentais que ocorrem no ambiente. A salinidade exhibe tendência positiva em relação a temperatura (40%), OD (44%) e transparência (47%), enquanto a relação é inversa com o MPS (-42%) e a profundidade (-64%).

As clorofilas *a* total e fracionada exibem padrão semelhante (68%) entre si e também com a temperatura, sendo esta correlação maior para a fração menor (68%). A contribuição continental pode ser identificada na alta correlação positiva entre silicato e profundidade (42%). Por fim, a única correlação muito forte foi evidenciada entre as formas nitrogenadas N-nitrito e N-nitrato.

A análise de componentes principais resumiu 55,2% da variabilidade dos dados obtidos (Fig. 5). No eixo 1, a porção negativa revela a tendência semelhante entre as formas nitrogenadas N-nitrato e N-nitrito, a profundidade, ambas as frações de clorofila *a* e, com maior contribuição, o silicato e a temperatura. enquanto a transparência segue tendência contrária as concentrações de biomassa.

O eixo 2 revela que as frações de clorofila estão fortemente influenciadas pela temperatura. Enquanto as variáveis, predominantemente influenciadas pela contribuição continental, apresentam comportamento contrário.

## DISCUSSÃO

Portos estão normalmente associados ao desenvolvimento econômico e social. Contudo, estes empreendimentos podem paralelamente submeter os ecossistemas naturais costeiros à severos impactos ambientais.

Construído na década de 80, o CIPS provocou significativa transformação ao regime hidrogeomorgológico da baía de Suape. Desde então, os rios localizados no sistema estão sujeitos à diversas formas de intervenção antrópica, dentre eles o estuário do rio Merepe.

O diagnóstico local foi primeiramente fornecido por Valença *et al.* (2012), que o classificou como “fortemente perturbado”, conclusão corroborada por Batista e Flores-Montes

(2013) ao enquadrá-lo como “eutrofizado” em função da alta carga de poluentes orgânicos originados da atividade antrópica.

De forma antagônica, Silva (2013) descreve o estuário como um ambiente oligomesotrófico e sugere que a eutrofização não configura a principal forma de impacto antrópico, mas sim outras formas de contaminação provenientes das atividades portuárias.

Como interpretar resoluções diferentes no mesmo estuário? Esta base para esta resposta pode estar atrás do conceito básico de ambiente estuarino. Tratando-se de ambientes com intensas transformações em um brusco período de tempo, a contribuição das temporal, sazonal e espacial devem ser avaliadas para se compreender que espécie de resultados estão sendo registrados.

Embora todas as pesquisas citadas apresentem a área da foz como estação de amostragem comum, a variação a qual o estuário do rio Merepe é sujeita é capaz de reproduzir diferentes situações referentes à qualidade ambiental em período de tempo determinado (Silva, 2013). Ainda assim, resultados como estes evidenciam a importância do monitoramento integral em extensão, sazonalidade e influência da maré, para ambientes estuarinos.

### **Variação dos parâmetros ambientais no estuário do rio Merepe**

No estuário do rio Merepe a sazonalidade atuou como força-matriz na dinâmica e alteração dos parâmetros ambientais avaliados. Este resultado, semelhante ao encontrado em outros estuários do estado de Pernambuco, justifica-se pela intensidade da precipitação, típico de zonas tropicais, e seu papel como mobilizador de nutrientes em cursos fluviais (Bastos *et al.* 2011).

As medianas de profundidade (Tab. 2) evidenciam o quão raso é o estuário do rio Merepe. A geomorfologia de origem de cursos fluviais localizados em planícies costeiras limita estes ambientes à baixas profundidades (Pritchard, 1952), característica similar em outros estuários da costa sul do estado (Tab. 3), como no rio Sirinhaém (Silva, 2009) e rio Maracápe (Bastos *et al.*, 2011).

A profundidade também permite inferir sobre o funcionamento do estuário em relação à sua extensão. A ausência de variação significativa apenas entre E2-E3 (Tab. 2) sugere que estas estações compartilham maior similaridade ambiental entre si quando comparada a E1.

Após a obstrução da baía, as fozes dos estuários dos rios Ipojuca e Merepe formaram um sistema distinto da extensão de seus cursos fluviais. Estes ambientes exibem uma

dinâmica típica de lagoas costeiras, com elevada salinidade, turbidez e baixa profundidade (Neumann *et al.*, 1998).

Lins (2002), ao avaliar a hidrodinâmica do sistema Ipojuca-Merepe, observou que durante os períodos de enchente, a corrente marinha atinge as maiores velocidades na foz do estuário do rio Merepe, segregando espacialmente o estuário de forma mais intensa a.

As estações (E2 e E3) localizadas à montante, geograficamente posicionadas de forma paralela ao oceano e sujeitas ao reduzido contato exibem maior contribuição limnética para a ecologia desta região. Dicotomia espacial que pode ser reforçada pela distribuição da salinidade cuja mediana é consideravelmente inferior as encontradas em outros estuários costeiros, a exemplo do rio Maracaípe (Bastos *et al.*, 2011) com média de 34 psu e o rio Ariquindá (Grego *et al.*, 2009) com concentrações entre 20 e 30 psu.

A salinidade e transparência, variáveis ligadas principalmente à contribuição marinha, além de exibirem elevada correlação (Fig. 4), não apenas destacam a maior contribuição continental durante o período chuvoso, mas a influência da massa de água marinha na foz do estuário.

A massa d'água do Oceano Atlântico caracteriza-se pela oligotrofia e temperaturas mais elevadas. Nesta perspectiva, a correlação positiva entre as variáveis salinidade, transparência e temperatura no estuário do rio Merepe auxiliam a evidenciar a intrusão marinha no sistema.

Em ambientes aquáticos costeiros a transparência é reduzida no período chuvoso em função da maior quantidade material carregado pelo curso fluvial (Eskinazi-Leça *et al.*, 1993). Este parâmetro é influenciado pela quantidade de MPS e seu consequente efeito na turbidez.

As concentrações de MPS no estuário avaliado aumentam gradativamente de E1 à E3, uma vez que o continente é a principal fonte de matéria para o curso fluvial. A variação espacial significativa entre E1-E3 para as concentrações de silicato reafirma esta hipótese, opondo mais uma vez à influência marinha e fluvial em diferentes setores do estuário.

A maior vazão dos rios da região Norte, principalmente no período chuvoso, e a forte influência exercida pelo regime de macromaré, são evidenciados pelo contraste entre expressivo aporte de material e o efeito diluidor da massa de água marinha, tornando o processo, discreto no estuário do rio Merepe, mais evidente. É o caso dos estuários do rio Paciência (Cavalcanti, 2017) e do rio Guamá (Paiva *et al.*, 2006).

Ainda que sazonalmente não significativo, a concentração de MPS no estuário do rio Merepe merece particular atenção. Quantitativamente, este estuário apresenta concentrações bastante inferiores quando comparada à outros estuários semelhantes (Tab. 3).

A razão para esta discrepância se justifica em função do porte do estuário. Farias (2014) explica que pequenos deflúvios apresentam, em geral, baixa capacidade de transporte. A baixa vazão, característica principalmente dos períodos de estiagem, inviabiliza o transporte hidrosedimentológico mesmo que houvessem grandes estoques de material no leito ou na coluna d'água.

Outro aspecto que apresentou comportamento anormal, ainda que não significativo, foram as medianas sazonais do MPS, apresentando concentrações em sentido oposto aos da transparência, variáveis intrinsecamente relacionadas em função da turbidez da coluna d'água.

Resultados similares foram previamente reportados por Passavante e Koenig (1984) no rio Botafogo e por Feitosa *et al.* (1999) no rio Goiana, os quais associaram este aumento inesperado especificamente ao despejo de rejeitos de Usinas de cana-de-açúcar, prática comum no estado de Pernambuco e que ocorre durante o período de estiagem.

Reforçando a hipótese de aporte antropogênico, Santos-Jr (2012), ao avaliar o estuário do rio Ipojuca, identificou o aumento no montante de matéria orgânica na coluna d'água, sugerindo relação entre os resultados obtidos e o despejo industrial na região. Em paralelo, no presente estudo as concentrações de silicato não acompanham a variação sazonal do MPS, sugerindo que essa contribuição não é reflexo do regime natural do estuário.

Ainda que o sedimento atue como um agente vital para a caracterização dos estuários (Miranda *et al.*, 2002), é o transporte que evidencia a importância deste componente na dinâmica dos cursos fluviais (Pryia *et al.*, 2012), e anormalidades em seu comportamento podem sugerir degradação ambiental na região.

Outra variável importante para assimilar a dinâmica ambiental do estuário do rio Merepe e especialmente associada à biomassa algal foi a temperatura (Fig. 5), se mostrou especialmente correlacionada à clorofila *a* fracionada (Fig. 4) além da clorofila *a* total.

A influência deste parâmetro no crescimento fitoplanctônico, especificamente o marinho, tem sido recentemente alvo de interesse em pesquisas que buscam compreender o efeito das mudanças climáticas na diversidade e produtividade das algas marinhas, base da produtividade oceânica.

O efeito da temperatura no fitoplancton oceânico foi avaliado por Thomas (2013) através de um modelo eco-evolucionário que analisou uma extensa base de dados entre as coordenadas 78°N e 78°S. Thomas conclui que o microfítoplâncton marinho localizado em áreas tropicais, particularmente o bacteriopâncton, apresenta maior taxa de crescimento quando submetido a temperaturas médias ou inferiores a essas.

Já para o ambiente estuarino estudado, os resultados sugerem que o aumento da temperatura acompanha o crescimento fitoplanctônico, citada como uma tendência natural em condições ótimas de luminosidade e disponibilidade de nutrientes (Eppley, 1972; Bissinger *et al.*, 2008).

Chen e Laws (2016) propõem que o fator taxonômico é importante para compreender esta correlação. A forte proporcionalidade entre temperatura e taxa de crescimento é particularmente observado em cianobactérias, diatomáceas e dinoflagelados (Chen, 2015). Todavia, como na presente pesquisa os dados taxonômicos não estão disponíveis, limitar-se-á forte correlação entre a clorofila *a* fracionada e a temperatura.

Esta fração é composta principalmente por espécies pertencentes ao grupo das dianoflageladas e outros característico de ambientes oceânicos (Koenig *et al.*, 2002), compreendendo a fração conhecida como picofitoplâncton, os quais possuem grande contribuição na produtividade marinha. Todavia, Sal e López-Urrutia (2011) aconselham cautela ao avaliar o efeito da temperatura, principalmente com dados *in situ*.

Segundo os autores, ainda que a relação exista, ela não depende do tamanho da célula. A necessidade de utilizar dados de temperatura desenvolvidos teoricamente, como feito por Thomas (2013), é devido a impossibilidade de distinguir possíveis vieses derivados de variáveis externas não mensuradas e que influenciem no comportamento do fitoplâncton.

Desta forma, para o estuário do rio Merepe, além do curto período de monitoramento, a pequena escala territorial e temporal tornam qualquer tentativa de estabelecer uma explicação robusta para a correlação observada uma tarefa árdua, guiando as conclusões ao campo da especulação.

A produção fitoplanctônica em estuários é alterada como resultado do enriquecimento de ecossistemas aquáticos (Painting *et al.*, 2007), permitindo analisar e prever episódios de florescimento algal a partir do crescimento exacerbado das concentrações de clorofila *a* (Guiner *et al.*, 2015).

Além disso, é importante ressaltar que a precipitação atua como parâmetro crucial para compreensão da distribuição, composição e produtividade fitoplanctônica (Thompson *et al.*, 2015)-

Em relação a clorofila, elevadas concentrações foram registradas especialmente no período de estiagem, no entanto este não é o padrão para ambientes estuarinos em boa qualidade no estado de Pernambuco. Os estuários em bom estado de conservação do estado apresentam maiores concentrações durante o período chuvoso.

Todavia, exceções como o estuário do rio Ilhetas e Mamucabas existem (Losada, 2000); nestes ecossistemas as altas concentrações de clorofila *a* durante o período de estiagem se dão em função da alta contribuição do fitoplâncton marinho à produtividade local, influência descartada para o estuário do rio Merepe.

Tornando novamente ao aspecto sazonal e sua relação com a biomassa algal do estuário em questão, durante o período de estiagem, ainda que o aumento da transparência e conseqüentemente da zona eufótica possa influenciar o crescimento fitoplanctônico, a regra geral para estuários pernambucano é a limitação por nutrientes, como observado por Passavante, 1979 no Canal de Santa Cruz.

Outro fator importante relacionado ao período sazonal está no efeito turbulento do período chuvoso, principalmente em estuários rasos, que favorecem a remobilização de sedimento e comprometem a estabilidade da coluna d'água, um relevante aspecto da ecologia de organismos aquáticos.

Avaliando o estuário do rio Kaduviyar (Sudeste da Índia), Perumal *et al.* (2009) enfatiza a importância da estabilidade da coluna d'água como importante requisito para a produtividade fitoplanctônica, conservando as taxas de crescimento algal ainda que sob baixas quantidades de nutrientes e altas salinidades.

Todavia, o estuário do rio Merepe apresentou elevadas concentrações de nutrientes, rejeitando a hipótese de limitação por nutrientes. As formas nitrogenadas N-nitrito e N-nitrato foram sazonalmente significativos.

Os valores encontrados, além de excederem ao esperado para estuários de pequeno porte (Lima, 2016), apresentaram brusca redução durante o período de estiagem, principalmente para o N-nitrato, sintoma comum pelo consumo em função de episódios de florações algais (Kormas *et al.*, 2001).

No rio Merepe, esta hipótese ganha consistência ao cruzá-los com o decréscimo das concentrações de OD. O excesso de matéria orgânica é oxidado através do metabolismo de bactérias decompositoras, resultando na má qualidade das águas, o qual exhibe concentrações próximas à estados de anoxia e medianas inferiores à 5 ml.L<sup>-1</sup> (Tab. 2), mínimo requerido por resolução técnica ambiental brasileira (Conama n. 365) para águas salobras em qualidade adequada.

Em síntese, a baixa saturação de oxigênio das águas do estuário do rio Merepe, somada às alterações no padrão sedimentológico por fontes externas de MPS, às elevadas concentrações de nutrientes inorgânicos e a elevação dos níveis de clorofila *a* durante o período de estiagem são sintomas fortemente ligados à fenômenos de eutrofização.

A situação de degradação ambiental do estuário tende a se agravar nas extensões internas do estuário, em função da espacialidade particular dos parâmetros hidrológicos locais, enquanto a intrusão marinha amortiza o fenômeno na fração externa do curso fluvial.

O estuário necessita ainda, de monitoramento e incentivo governamental para projetos de recuperação e conservação da área. Além disso, Segundo Hood and Roach (2015), para que portos detenham uma execução efetiva de atividades portuárias, que visem principalmente mitigar a degradação ambiental, é necessário não apenas o adequado planejamento, mas uma relação sólida com o governo e a comunidade local.

## AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa se tornou possível graças ao comprometimento e parceria entre as equipes dos laboratórios de Ecologia do Fitoplâncton (Labfito), Oceanografia Química (LOQUIM) e Oceanografia Geológica (LABGEO), membros do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), no Brasil. Além disso, faz-se imprescindível citar a importância da equipe de campo para o bom desenvolvimento dos trabalhos, com saudações a Isaac Cristiano de Freitas e Hermes Ferreira de Paula.

## SUPORTE FINANCEIRO

A pesquisa foi financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal Superior (CAPES).

## REFERÊNCIAS

- Aquino EP, Figueirêdo LGP, Anjos DL, Passavante JZO and Silva-Cunha MGG (2012) Biomassa fitoplanctônica e fatores ambientais em um estuário tropical do Brasil. *Tropical Oceanography* **40**, 17-28.
- Bastos RB, Feitosa FAN and Muniz K (2005) Variabilidade espaço-temporal da biomassa fitoplanctônica e hidrologia no estuário do rio Una (Pernambuco, Brasil). *Tropical Oceanography* **33**, 1-18.
- Bastos RB, Feitosa FAN, Koenig ML, Machado RCA and Muniz K (2011) Caracterização de uma zona costeira tropical (Ipojuca-Pernambuco-Brasil): produtividade fitoplanctônica e outras variáveis ambientais. *Brazilian Journal of Aquatic Sciences and Technology* **15**, 1-10.
- Batista TNF and Flores-Montes MJ (2014) Estado trófico dos estuários dos rios Ipojuca e Merepe – PE. *Tropical Oceanography* **42**, 22-30.
- Wilde FD (2008) Chapter A7. Biological indicators. In Berkman J.A. and Canova M.G. (eds) *Algae biomass indicators*. Reston, VA: U.S. Geological Survey, pp. 5-84.
- Bissinger JE, Montagnes DJS, Haples J and Atkinson D (2008) Predicting marine phytoplankton maximum growth rates from temperature: Improving on the Eppley curve using quantile regression. *Limnology and Oceanography* **53**, 487-493.
- Blaber SJM, Cyrus DP, Albaret JJ, Ching Cv, Day JW, Elliot M, Fonseca MS, Hoss DE, Orensanz J, Potter IC and Silvert W (2000) Effects of fishing on the structure and functioning of estuarine and nearshore ecosystems. *ICES Journal of Marine Science* **57**, 590-602.
- Bordon ICAC, Sarkis JES, Andrade NP, Hortellani MA, Favaro DIT, Kakazu MH, Cotrim

MEB, Lavradas RT, Moreira I, Saint’Pierre TD and Hauser-Davis RA (2016) An environmental forensic approach for tropical estuaries based on metal bioaccumulation in tissues of *Callinectes danae*. *Ecotoxicology* **25**, 91–104.

Borges GCP (2016) *Descritores da qualidade ambiental do sistema estuarino do Recife (PE): o papel do fitoplâncton*. PhD thesis. Federal University of Pernambuco, Recife, Brazil.

Boyer JN, Kelble CR, Ortner PB and Rudnick DT (2009) Phytoplankton bloom status: Chlorophyll a biomass as an indicator of water quality condition in the southern estuaries of Florida, USA. *Ecological Indicators* **9**, 56–67.

Castro NT, Feitosa FAN and Flores-Montes MJ (2014) Avaliação das condições ambientais do estuário do rio Carrapicho (Itamaracá-PE): Biomassa fitoplanctônica e hidrologia. *Tropical Oceanography* **42**, 77-93.

Cavalcanti LF (2018) *Variabilidade espaço-temporal do fitoplâncton ao longo de um gradiente salino em um estuário tropical de macromaré na margem equatorial brasileira*. MPhil thesis. Federal University of Maranhão, São Luís, Brazil.

Chen, B. (2015) Patterns of thermal limits of phytoplankton. *J. Plankton Res* **37**, 285–292.

Chen B and Laws EA (2016) Is there a difference of temperature sensitivity between marine phytoplankton and heterotrophs? *Limnology and Oceanography* **62**, 806-817.

Cordeiro LA (2017) *Condições ambientais da área do complexo estuarino-portuário de Suape (Pernambuco, Brasil): Biomassa fitoplanctônica e parâmetros hidrológicos*. MPhil thesis. Federal University of Pernambuco, Recife, Brazil.

Elliot M and Mcluskys Ds (2002) The need for definitions in understanding estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **55**, 815-827.

Eppley RW (1972) Temperature and phytoplankton growth in the sea. *Fish. Bull* **70**, 1063-1085.

Eskinazi-Leça E, Silva-Cunha MGG, Koenig ML, Macêdo SJ and Costa KMP (1997) Variação Espacial e Temporal do Fitoplâncton na Plataforma Continental de Pernambuco-Brasil. *Trab. Oceanogr. Univ. Fed. PE* **25**, 1-16.

Faria AP (2014) Transporte de sedimentos em canais fluviais de primeira ordem: respostas geomorfológicas. *Revista Brasileira de Geomorfologia* **15**, 191-202.

Feitosa FAN (1988) *Produção primária do fitoplâncton correlacionada com parâmetros bióticos e abióticos na bacia do Pina, Recife-Pernambuco, Brasil*. MPhil thesis. Federal University of Pernambuco, Recife, Brazil.

Feitosa FAN, Silva-Cunha MGG, Passavante JZO, Neumann-Leitão S and Lins IC (1999) Estrutura do microfitoplâncton no sistema estuarino do Rio Goiana, Pernambuco, Brasil. *Trabalhos Oceanográficos* **27**, 15–25.

Grasshof K, Kremling K and Ehrhardt M (1983) *Methods of Seawater Analysis*. Second revised and extended edition. Florida: Verlag Chemie.

Grego CKS, Feitosa FAN, Silva MH, Silva-Cunha MGG e Filho GAN (2009) Fitoplâncton do

ecossistema estuarino do rio ariquindá (Tamandaré, Pernambuco, Brasil): variáveis ambientais, biomassa e produtividade primária. *Atlântica* **31**, 183-198.

Guinder VA, López-Abbate C, Berasategui AA, Negrin VL, Zapperi G, Pratolongo PD, Severini MD and Popovich CA (2014) Influence of the winter phytoplankton bloom on the settled material in a temperate shallow estuary. *Oceanologia* **57**, 50-60.

**Hood A and Roach M.** Complex Industrial Uses, Community Engagement and Environmental Issues - Challenges of Planning for Ports in Queensland Environment. *Australian Environment Review LexisNexis, Forthcoming*. Published online: 9 September 2015.

**IBGE** (2013). *Atlas do Censo Demográfico 2010*. Rio de Janeiro: IBGE.

Koening ML, Eskinazi-Leça E, Neumann-Leitão S and Macêdo SJ (2002) Impactos da construção do porto de Suape sobre a comunidade fitoplanctônica no estuário do rio Ipojuca (Pernambuco-Brasil). *Acta Bot. Bras* **16**, 407-420.

Kormas AK, Garametsi V, Nicolaidou A (2002) Size-fractionated phytoplankton chlorophyll in a Eastern Mediterranean coastal system (Maliakos Gulf, Greece). *Helgol. Mar. Res* **56**, 125-133

Laut LLM, Silva FS, Bonetti C, Figueiredo-Jr AG and Crapez MAC (2007) Foraminíferos e atividade bacteriana aplicados no diagnóstico ambiental do estuário do rio Itacorubí, Florianópolis, SC. *Revista Brasileira de Geociências* **37**, 565-578.

Lima AN (2016) *Condições ambientais do estuário do rio Formoso (Tamandaré/Pernambuco/Brasil): biomassa fitoplanctônica e hidrologia*. MPhil thesis. Federal University of Pernambuco, Recife, Brazil.

Lins PAM (2002) *Hidrologia e hidrodinâmica do baixo estuário do rio Ipojuca, PE*. MPhil thesis. Federal University of Pernambuco, Recife, Brazil.

Losada APM (2000) *Biomassa fitoplanctônica correlacionada com parâmetros abióticos, no estuário dos rios Ilhetas e Mamucaba, e na Baía de Tamandaré (Pernambuco – Brasil)*. MPhil thesis. Federal University of Pernambuco, Recife, Brazil.

Melo U, Summerhayes CP and Torner LG (1975) Metodologia para o estudo do material em suspensão na água do mar. *Boletim técnico da Petrobras* **18**, 115-127.

**Miranda LB, Castro BM and Kjerfve B** (2002) *Princípios de Oceanografia Física de Estuários*. São Paulo: EDUSP.

Monteiro SM, El-Robrini M and Alves ICC (2015) Dinâmica sazonal de nutrientes em estuário amazônico. *Mercator* **14**, 151-162.

Moretti R and Cox M (2016) Impactos socioambientais ao longo da implantação e consolidação do Complexo industrial portuário de Suape-PE. *Gaia Scientia* **10**, 98-105.

**Muehe D** (2012) Erosão e progradação do litoral brasileiro: Pernambuco. In Manso V.A.V., Coutinho P.N., Guerra N.C and Junior C.F.A.S. (eds) *Pernambuco*. Brasília, DF: PGGM, pp. 179-196.

**Omori M and Ikeda T** (1984) *Methods in marine zooplankton ecology*. New York: John

Wiley & Sons.

Otsuka AY, Feitosa FAN, Flores-Montes MJ and Silva A (2016) Dynamics of chlorophyll a and oceanographic parameters in the Coastal Zone: Barra das Jangadas-Pernambuco, Brazil. *Journal of Coastal Research* **32**, 490-499.

Neumann VH, Medeiros C, Parente L, Neumann-Leitão S and Koenig ML (1998) Hydrodynamism, sedimentology, geomorphology and plankton changes at Suape area (Pernambuco-Brazil) after a Port Complex Implantation. *Anais Academia Brasileira de Ciências* **70**, 313-323.

Painting SJ, Devlin MJ, Malcolm SJ, Parker ER, Mills DK, Mills C, Tett P, Wither A, Burt J, Jones R and Winpenny K (2007) Assessing the impact of nutrient enrichment in estuaries: susceptibility to eutrophication. *Mar.Pollution Bull* **55**, 74-90.

Paiva RS, Eskinazi-Leça E, Passavante JZO, Silva-Cunha MGG and Melo NFAC (2006) Considerações ecológicas sobre o fitoplâncton da baía do Guarujá e foz do rio Guamá, Pará, Brasil. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciências Naturais* **1**, 133-146.

Parsons TR and Strickland JDH (1963) Discussion of spectrophotometric determination of marine-plant pigments, with revised equations for ascertaining chlorophylls and carotenoids. *Journal of Marine Research* **21**, 155-163.

Passavante JZO (1979) *Produção primária do fitoplâncton do Canal de Santa Cruz (Itamaracá – Pernambuco)*. PhD thesis. São Paulo University, São Paulo, Brazil.

Passavante JZO and Koenig ML (1984) Estudo ecológico da região de Itamaracá (Pernambuco - Brasil): clorofila *a* e material em suspensão no estuário do rio Botafogo. *Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco* **18**, 207-230.

Perumal NV, Mayalagu R, Perumal P and Rajasekar KT (2009) Seasonal variations of plankton diversity in the Kaduviyar estuary, Nagapattinam, southeast coast of India. *Journal of Environmental Biology* **30**, 1035-1046.

Pritchard DW (1952) Salinity distribution and circulation in the Chesapeake Bay estuarine system. *Journal of Marine Research* **11**, 106-123.

Priya KL, Jegathambal P and James EJ (2012) Hydrodynamic modeling of estuaries – a state of art. *International journal of Environmental sciences* **3**, 233-240.

Rajkumar M, Perumal P, Prabu AV, Perumal VN and Rajasekar TK (2009) Phytoplankton diversity in Pichavaram mangrove waters from south-east coast of India. *Journal of Environmental Biology* **30**, 489-498.

Sal S and López-Urrutia Á. Temperature, nutrients, and the size-scaling of phytoplankton in the sea. *Limnology and Oceanography* **56**, 1952,1955.

Santos-Júnior AC (2012) *Estudo dos aportes continentais de carbono orgânico total em águas estuarinas do litoral sul de Pernambuco, Brasil*. MPhil thesis. Federal University of Pernambuco, Recife, Brazil.

Silva FB (2013) *Experimentos observacionais sobre o efeito da eutrofização na biologia do*

caranguejo *Uca leptodactyla* Rathbun 1989 em áreas estuarinas do litoral de Pernambuco. MPhil thesis. Federal University of Pernambuco, Recife, Brazil.

Silva MH (2009) *Estrutura e produtividade da comunidade fitoplanctônica de um estuário tropical (Sirinhaém, Pernambuco, Brasil)*. PhD thesis. Federal University of Pernambuco, Recife, Brazil.

Silva NBA (2017) *Diferentes classes de tamanho das células da comunidade fitoplanctônica ao longo de um gradiente trófico em ecossistema costeiro*. MPhil thesis. Federal University of Pernambuco, Recife, Brazil.

**Strickland JD and Parsons TR (1972)** *A practical handbook of Seawater Analysis*. Ottawa: Fisheries research board of Canada, Canada.

Strohaecker TM (2009) A dinâmica socioespacial da zona costeira brasileira. In *XII Encuentro de Geógrafos de América Latina, Montevideo, 3-7 April 2009*. pp. 1-16.

Thomaz MK (2013) *The effect of temperature on the ecology, evolution, and biogeography of phytoplankton*. MPhil thesis. University of Michigan, EUA.

Thompson PL, Davies TJ and Gonzalez A (2015) Ecosystem functions across trophic levels are linked to functional and phylogenetic diversity. *PLoS ONE* **10**, e0117595.

Tundisi JG (1983) A review of basic ecological processes interacting with production and standing-stock of phytoplankton in lakes and reservoirs in Brazil. *Hydrobiologia* **100**, 223-243.

Tundisi JG and Henry R (1986) Effects of enrichment of summer surface phytoplanktonic community in a stratified tropical lake. *Revista Brasileira Biologia* **46**, 231-237.

**Parsons TR (1966)** The determination of photosynthetic pigments in sea water. A survey of methods. *UNESCO Monographs in Oceanographic Methodology*, no. 1, 17 pp.

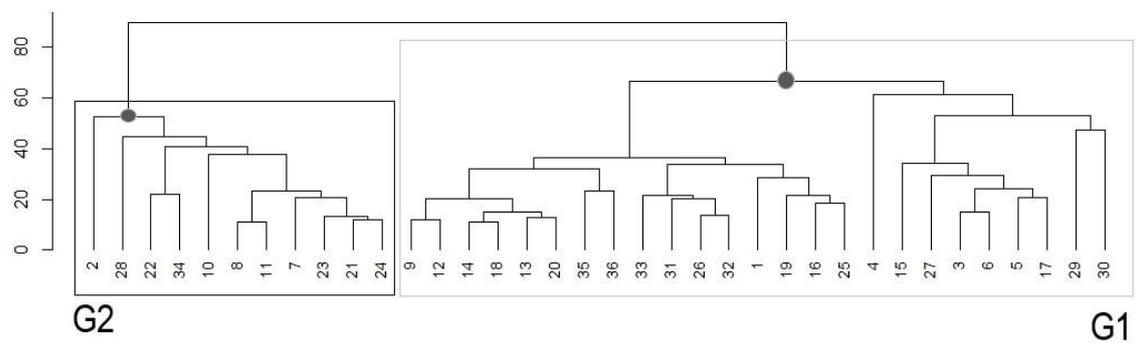
**SCOR-UNESCO Working Group Number 17 (1966)** Determination of photosynthetic pigments in sea water. *Unesco Monographs in Oceanographic Methodology*, no. 1, 9 pp.

Valença APMC and Santos PJP. Macrobenthic community for assessment of estuarine health in tropical areas (Northeast, Brazil): Review of macrofauna classification in ecological groups and application of AZTI Marine Biotic Index. *Marine Pollution Bulletin* **64**, 1809-1820.

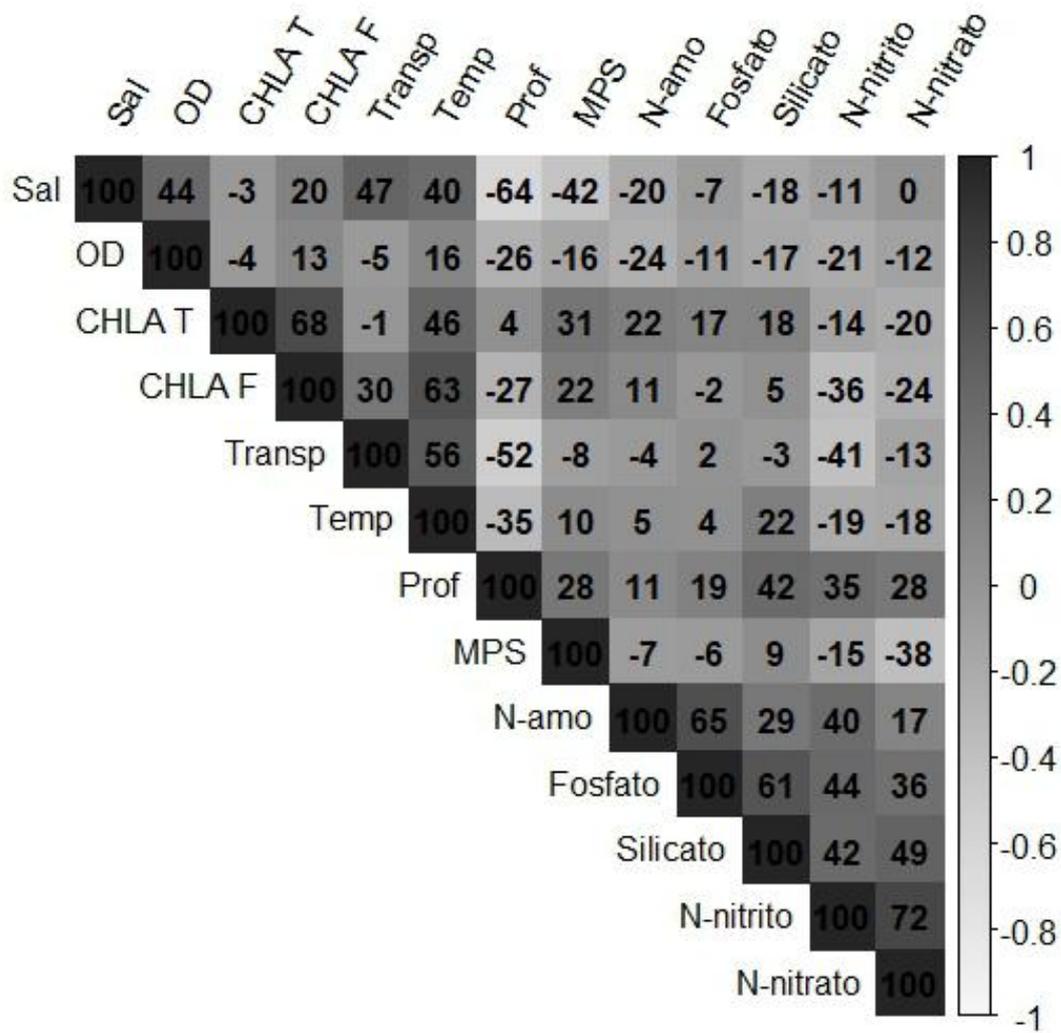
Wainger LA, Secor DH, Gurbisz C, Kemp WM, Glibert PM, Houde ED, Richkus J and Barber MC. Resilience indicators support valuation of estuarine ecosystem restoration under climate change. *Ecosystem Health and Sustainability* **3**, 1-19.

Wu ZH, He MC and Lin CY (2012c) Environmental impacts of heavy metals (Co, Cu, Pb, Zn) in surficial sediments of estuary in Daliao river and Yingkou Bay (northeast China): concentration level and chemical fraction. *Environ Earth Sci* **66**, 2417-2430.



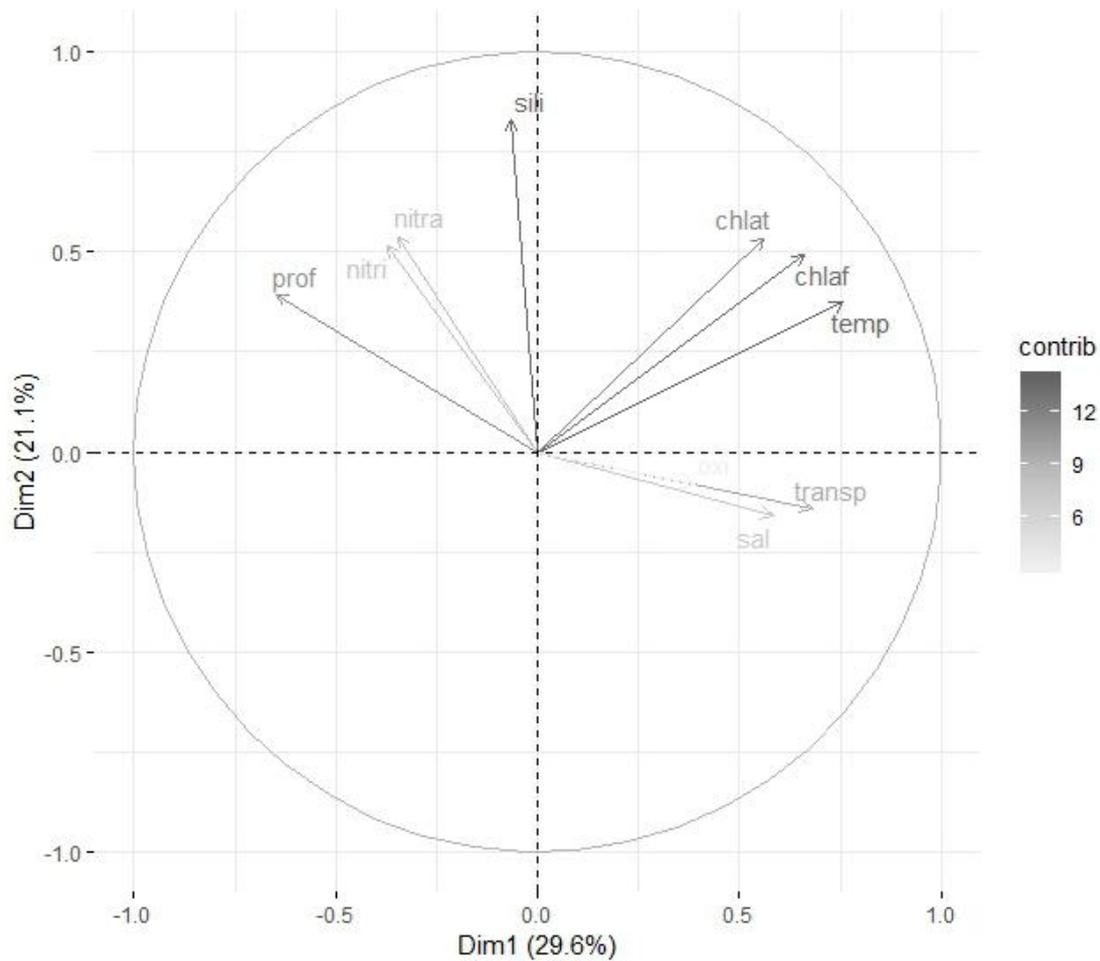


**Figura 3.** Associação hierárquica das amostras do estuário do rio Merepe.



**Figura 4.** Matrix de correlação das variáveis ambientais.

**Figura 5.** Análise de componentes principais dos parâmetros ambientais avaliados no estuário do rio Merepe.



## TABELAS

**Tabela 1.** Análise univariada dos parâmetros ambientais no estuário do rio Merepe. **Legenda:** Min – mínimo; Max – máximo; DP – desvio padrão.

Parâmetros	Chuvoso		Estiagem		Teste F de welch ( $\alpha \leq 0.05$ )				
	Min/Max	Mediana + DP	Min/Max	Mediana + DP	Sazonal	E1-E2	E2-E3	E1-E3	Maré
Profundidade (m)	1/3.3	2.05 ± 0.58	0.75/2.3	1.47 ± 0.45	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.47	0.00 <sup>a</sup>	0.16
Transparência (m)	0.2/1.1	0.4 ± 0.22	0.4/1.1	0.8 ± 0.19	0.00 <sup>a</sup>	0.27	0.47	0.63	0.68
Temperatura (°C)	24/28.3	26.85 ± 1.62	27/31	29.15 ± 1.12	0.00 <sup>a</sup>	0.44	0.71	0.72	0.46
Salinidade (psu)	ND/29	2.5 ± 7.06	ND/30.5	11.5 ± 10.1	0.02 <sup>a</sup>	0.01 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.14
MPS (mg/L)	0.2/10.8	2.5 ± 3.25	1.6/8.4	4.55 ± 2.13	0.52	0.02	0.39	0.00 <sup>a</sup>	0.76
OD (ml/L)	0.92/5.04	2.34 ± 1.16	0.7/9.19	2.11 ± 2.26	0.50	0.52	0.16	0.01 <sup>a</sup>	0.01 <sup>a</sup>
CHLA total (µm/L)	0.18/5.65	1.53 ± 1.38	0.29/29.9	4.46 ± 7.72	0.01 <sup>a</sup>	0.13	0.15	0.75	0.59
CHLA fracionada (µm/L)	ND/2.87	0.49 ± 0.81	0.24/16.5	3.65 ± 4.86	0.00 <sup>a</sup>	0.24	0.17	0.62	0.71
N-amônia (µm/L)	ND/0.94	0.44 ± 0.27	0/2.03	0.55 ± 0.68	0.17	0.19	0.06	0.7	0.19
N-nitrito (µm/L)	0.07/8.15	0.54 ± 3.07	ND/1.8	0.16 ± 0.58	0.02 <sup>a</sup>	0.77	0.87	0.88	0.52
Nitrato (µm/L)	1.10/43.3	9.6 ± 14.03	0/21.4	2.7 ± 6.7	0.02 <sup>a</sup>	0.79	0.96	0.76	0.9

Fosfato ( $\mu\text{m/L}$ )	0.45/5.9	1.9 $\pm$ 1.41	0.46/5.52	1.5 $\pm$ 1.43	0.61	0.00*	0.47	0.00*	0.69
Silicato ( $\mu\text{m/L}$ )	27.4/190	118.6 $\pm$ 42.61	31.5/196.4	101.75 $\pm$ 44.8	0.39	0.27	0.47	0.63	0.89

**Tabela 2.** Comparativo entre estuários da costa sul de Pernambuco. Legenda: Min – mínimo; Max – máximo; Prof. – profundidade; MPS – material particulado em suspensão; OD – oxigênio dissolvido; CHLA – clorofila *a* total.

Estuários	Prof.		MPS		OD		Nitrato		Fosfato		CHLA	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Formoso (Lima, 2016)	2	8,30	13,2	30,4	3,36	5,84	0,01	3,47	0,03	0,80	0,67	12,64
Sirinhaém (Honorato-Silva, 2009)	0,7	5,2	4,2	307	0	7	0,01	29,84	0,01	0,14	0,41	56,58
Ariquindá (Grego, 2010)	0,9	13	2,7	26,8	2,8	5,8	0,01	2,22	0,03	1,33	1,1	18,2
Maracaípe (Bastos, 2011)	0,25	2,70	2,20	69	3,14	7,37	0,01	3,29	0,01	0,22	1,11	18,72
Complexo Estuarino/Suape (Cordeiro, 2016)	1,3	15	1,6	50,56	2,60	5,12	0,01	4,47	0,02	0,44	0,03	3,47
Merepe (Próprio autor)	0,75	3,3	0,2	10,8	0,7	9,19	0,01	43,3	0,45	5,9	0,18	29,9

## 7 CONCLUSÃO GERAL

A sazonalidade atuou como força predominante no funcionamento do estuário do rio Merepe. Embora o aumento na quantidade precipitada no período chuvoso tenha trazido consigo maior carga de nutrientes, a redução da zona fótica e a instabilidade da coluna d'água, necessária ao desenvolvimento da comunidade algal, reduziu as concentrações de clorofila *a* total e fracionada.

No período de estiagem, as melhores condições de luminosidade elevaram a biomassa algal, acompanhadas pela redução das concentrações das formas nitrogenadas, principalmente o nitrato, molécula preferencialmente assimilada pelo fitoplâncton em episódios de floração.

Espacialmente o estuário subdividiu-se em uma seção limnética, compreendida por ambas as estações média e interna e indicanto a maior contribuição fluvial para a dinâmica local. A foz exibiu regime predominantemente marinho, com maiores concentrações de clorofila *a* fracionada, fração composta predominantemente por espécies oceânicas.

A estratificação do estuário, previamente favorecida pela posição parela ao Oceano, foi intensificada após a perda de contato com o ambiente oceânico causada pela construção do Porto de Suape. Desta forma, a maré, conquanto contribuindo par uma diluição das condições de apoxia do estuário, foi a forçante com menor influência.

A ampla variação do OD, aproximando-se da apoxia em algumas amostras, exemplifica as baixas condições de saturação do corpo hídrico avaliado. Fato que quando associado às elevadas quantidades de nutrientes, embora para o pequeno porte do estuário do rio Merepe, reforça a hipótese de impacto antrópico local.

A variação dos parâmetros físicos e químicos avaliados em relação a clorofila *a* sugerem elevado efeito de eutrofização no estuário estudado. Enfatiza-se também os processos sedimentares comprometidos no ambiente e o comportamento anormal do MPS, sendo possivelmente atribuído ao despejo de rejeitos provenientes das Usinas de cana-de-açúcar da região.

A temperatura apresentou forte correlação com a biomassa algal, estando intimamente relacionada à composição do fitoplâncton e influenciando potencialmente mais a clorofila *a* fracionada.

Para o pequeno porte do estuário e o breve período de amostragem enfraquecem tentativas de explicação mais consistentes, todavia, a relação da temperatura com a biomassa algal é um fenômeno que deve ser levado em consideração em próximos estudos na região.

Por fim, sem um plano de desenvolvimento coerente, a região do município de Ipojuca cresceu vertiginosamente com o aquecimento econômico, negligenciando aspectos importantes de manutenção da qualidade ambiental local.

Diagnósticos e avaliações auxiliam para tomadas de decisão de gestores ambientais na área, contudo é imprescindível a redução drástica na carga de nutrientes despejados no leito fluvial, o tratamento de sua condição atual e monitoramento contínuo das águas.

## REFERÊNCIAS

- AQUINO, E. P.; FIGUEIRÊDO, L. G. P.; ANJOS, D.L.; PASSAVANTE, J. Z. O.; SILVACUNHA, M. G. G.; Biomassa fitoplanctônica e fatores ambientais em um estuário tropical do Brasil. **Tropical Oceanography**, Recife, v. 40, n. 2, p. 17-28, 2012.
- BARRETO, L. V.; Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 16, 2165p., 2013.
- BASTOS, R.B.; FEITOSA, F.A.N.; MUNIZ, K. Variabilidade espaço-temporal da biomassa fitoplanctônica e hidrologia no estuário do rio Una (Pernambuco, Brasil). **Tropical Oceanography**, v. 33, n. 1, p. 1-18, 2005.
- BASTOS, R. B.; FEITOSA, F. A. N.; KOENING, M. L.; MACHADO, R. C. A.; MUNIZ, K. Caracterização de uma zona costeira tropical (Ipojuca- Pernambuco- Brasil): produtividade fitoplanctônica e outras variáveis ambientais. **Brazilian Journal of Aquatic Sciences and Technology**, v. 15, n. 1, p. 01-10, 2011.
- BATISTA, T.N.F.; FLORES-MONTES, M.J. Estado trófico dos estuários dos rios Ipojuca e Merepe – PE. **Tropical Oceanography**. Recife, v. 42, n. especial, p. 22-30, 2014.
- BEIRÃO, A.P.; PEREIRA, A.C.A. **Reflexões sobre a Convenção do Direito do Mar**; Brasília: Funag, 2014.
- BERKMAN, J.A.; CANOVA M.G. Algal biomass indicators. In: **U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations**. Book 9, chap. A7, section 7.4. Disponível em: <<http://pubs.water.usgs.gov/twri9A/>>. Acesso em: 08 de novembro de 2017.
- BISSINGER, J.E.; MONTAGNES, D.J.S.; HAPLES, J.; ATKINSON, D. Predicting marine phytoplankton maximum growth rates from temperature: Improving on the Eppley curve using quantile regression. **Limnology and Oceanography**. v. 53, p. 487–493. DOI:10.4319/lo.2008.53.2.0487
- BLABER, S.J.M.; CYRUS, D.P.; ALBARET, J.J.; CHING, C.V.; DAY, J.W.; ELLIOTT, M.; FONSECA, M.S.; HOSS, D.E.; ORENSANZ, J.; POTTER, I.C.; E SILVERT, W. Effects of fishing on the structure and functioning of estuarine and nearshore ecosystems. **ICES Journal of Marine Science**. v. 57, n. 3, p. 590-602, 2000.
- BORDON, I.C.A.C.; SARKIS, J.E.S.; ANDRADE, N.P.; HORTELLANI, M.A.; FAVARO, D.I.T.; KAKAZU, M.H.; COTRIM, M.E.B.; LAVRADAS, R.T.; MOREIRA, I.; SAINT'PIERRE, T.D.; HAUSER-DAVIS, R.A. An environmental forensic approach for tropical estuaries based on metal bioaccumulation in tissues of *Callinectes danae*. **Ecotoxicology**. v. 25, p. 91–104, 2016.
- BORGES, G.C.P. **Descritores da qualidade ambiental do sistema estuarino do Recife (PE): o papel do fitoplâncton**. 2016. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.
- BOYER, J.N.; KELBLE, C.R.; ORTNER, P.B.; E RUDNICK, D.T. Phytoplankton bloom status: Chlorophyll a biomass as an indicator of water quality condition in the southern estuaries of Florida, USA. **Ecological Indicators**. v. 9, n. 6, p 56–67, 2009.
- BRANCO, E. S. **Aspectos ecológicos da comunidade fitoplanctônica no sistema estuarino de Barra das Jangadas (Jaboatão dos Guararapes - Pernambuco – Brasil)**. 2001.

Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2001.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 15 de junho de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>> Acesso em: 08 de outubro de 2018.

CARVALHO, R.Q.C.; CUTRIM, M.J.V.; ESCHRQUE, S.A.; AZEVEDO-CUTRIM, A.G.C.; MOREIRA, E.G.; SILVEIRA, P.C.A.; COÊLHO, M.J. Microphytoplankton composition, chlorophyll-a concentration and environmental variables of the Maranhão Continental Shelf, Northern Brazil. **Lat. Am. J. Aquat. Res.** v. 44, n. 2, p. 256-266, 2016.

CASTRO, N.T.; FEITOSA, F.A.N.; FLORES-MONTES, M.J. Avaliação das condições ambientais do estuário do rio Carrapicho (Itamaracá-PE): Biomassa fitoplanctônica e hidrologia. **Tropical Oceanography**, Recife, v. 42, n. 1, p. 77-93, 2014.

CAVALCANTI, L.B. **Variações das condições hidrológicas associadas ao cultivo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (BOONE, 1931), na região estuarina do rio Paraíba do Norte (Paraíba – Brasil)**. 2003. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 148p., 2003.

CAVALCANTI, L.F. **Variabilidade espaço-temporal do fitoplâncton ao longo de um gradiente salino em um estuário tropical de macromaré na margem equatorial brasileira**. 2018. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.

CHEN, B. Patterns of thermal limits of phytoplankton. **J. Plankton Res.** v. 37, p. 285-292, 2015.

CHEN, B.; LAWS, E.A. Is there a difference of temperature sensitivity between marine phytoplankton and heterotrophs?. **Limnology and Oceanography**, v. 62, n. 2, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/lno.10462>

CHISLOCK, M.F.; DOSTER, E.; ZITOMER, R.A.; WILSON, A.E. "Eutrophication: Causes, Consequences, and Controls in Aquatic Ecosystems". **Nature Education Knowledge**. v. 4, n. 10, 2018.

CLOERN, J.E.; JASSBY, A.D.; CARSTENSEN, J.; BENNETT, W.A.; KIMMERER, W.; NALLY, R.M.; SCHOELLHAMER, D.H.; WINDER, M. Perils of correlating CUSUM-transformed variables to infer ecological relationships (Breton *et al.* 2006; Glibert 2010). **Limnology and Oceanography**. v. 57, n. 2, p. 665-668, 2012.

CORDEIRO, I.A.; FEITOSA, F.A.N.; FLORES-MONTES, M.J.; SILVA, M.H. Distribuição sazonal e espacial da clorofila *a* e variáveis ambientais na plataforma continental de Pernambuco (Porto do Recife), Brasil. **Tropical Oceanography**, v. 42, n. 1, p. 60-76, 2014.

CORDEIRO, I.A. **Condições ambientais da área do complexo estuarino-portuário de Suape (Pernambuco, Brasil): Biomassa fitoplanctônica e parâmetros hidrológicos**. 2017. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

COTOVICZ-JUNIOR, L.C. **Aplicação de Modelos (ASSETS e TRIX) para Avaliação do Estado Trófico e Cenário Futuro da Eutrofização do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba, (AL)**. 2012. Dissertação (Mestrado em Geoquímica) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012.

CPRH. **Ambientes estuarinos**, não paginado, 1996. Disponível em: <[http://www.cprh.pe.gov.br/perfis\\_ambientais/areas\\_estuarinas/39751%3B33012%3B1802%3B0%3B0.asp](http://www.cprh.pe.gov.br/perfis_ambientais/areas_estuarinas/39751%3B33012%3B1802%3B0%3B0.asp)>. Acesso em: 10 de setembro de 2018.

ELLIOTT, M.; MCLUSKY, D.S. The need for definitions in understanding estuaries. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. v. 55, p. 815-827, 2002.

EPPLEY, R.W. Temperature and phytoplankton growth in the sea. **Fish. Bull.**, v. 70, p. 1063-1085, 1972.

ESCHRIQUE, S.A. **Estudo do balanço biogeoquímico dos nutrientes dissolvidos principais como indicativo da influência antrópica em sistemas estuarinos do Nordeste e Sudeste do Brasil**. 2011. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

ESKINAZI-LEÇA, E.; SILVA-CUNHA, M. G.G.; KOENING, M.L. Variação espaço-temporal do fitoplâncton da Plataforma Continental de Pernambuco. In: **III Congresso Latino Americano de Ficologia**, México, p. 121, 1993.

FEITOSA, F.A.N. **Produção primária do fitoplâncton correlacionada com parâmetros bióticos e abióticos na bacia do Pina, Recife-Pernambuco, Brasil**. 1988. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1988.

FEITOSA, F.A.N.; SILVA-CUNHA, M.G.G.; PASSAVANTE, J.Z.O.; NEUMANN-LEITÃO, S.; LINS, I.C. Estrutura do microfítoplâncton no sistema estuarino do Rio Goiana, Pernambuco, Brasil. **Trabalhos Oceanográficos**. v. 27, p. 15–25, 1999.

FEITOSA, F.A.N.; FLORES-MONTES, M.J.; MELO, D.C.M.; SANTANA, J.R.; SILVA, L.M.; FILHO, S.J. Condições ambientais do estuário do rio Timbó (Pernambuco-Brasil): Biomassa fitoplanctônica e algumas variáveis ambientais. **Tropical Oceanography**. v. 42, n. 2, p. 156-169, 2014.

GRASSHOFF, K.; KREMLING, K.; EHRHARDT, M. *Methods of Seawater Analysis: Second, Revised and Extended Edition*. Florida: Verlag Chemie, 419p., 1983.

GREGO, C.K.S.; FEITOSA, F.A.N.; SILVA, M.H.; FLORES-MONTES, M.J. Distribuição espacial e sazonal da clorofila *a* fitoplanctônica e hidrologia do estuário rio Timbó (Paulista-PE). **Tropical Oceanography**. v. 32, n. 2, p. 181-199, 2004.

GREGO, C.K.S.; FEITOSA, F.A.N.; SILVA, M.H.; SILVA-CUNHA, M.G.G.; FILHO, G.A.N. Fitoplâncton do ecossistema estuarino do rio ariquindá (Tamandaré, Pernambuco, Brasil): variáveis ambientais, biomassa e produtividade primária. **Atlântica**, Rio Grande, v. 31, n. 2, p. 183-198, 2009.

GUINDER, V.A.; LÓPEZ-ABBATE, C.; BERASATEGUI, A.A.; NEGRIN, V.L.; ZAPPERI, G.; PRATOLONGO, P.D.; SEVERINI, M.D.; POPOVICH, C.A. Influence of the winter

- phytoplankton bloom on the settled material in a temperate shallow estuary. **Oceanologia**, v. 57, n. 1, p. 50-60, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2014.10.002>
- HARDOY, J.; JORGE, E.; MITLIN, D.; SATTERTHWAITTE, D. Environmental problems in an urbanizing world: finding solutions for cities in Africa, Asia and Latin America, Earthscan Publications. London, 470p, 2001.
- HOOD, A.; ROACH, M. Complex Industrial Uses, Community Engagement and Environmental Issues - Challenges of Planning for Ports in Queensland. **Australian Environment Review**, 2015. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=2657923>>. Acesso em: 10 de agosto de 2018.
- IBGE. **Atlas do Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013, 156pp.
- JUNK, W.J; PIEDADE, M.T.F; LOURIVAL, R; WITTMANN, F; KANDUS,P; LACERDA, L.D; BOZELLI, R.L; ESTEVES, F.A; CUNHA, C.N; MALTCHIK,L; SCHÖNGART, J; SCHAEFFER-NOVELLI,Y; AGOSTINHO, A.A. Brazilian wetlandas: their definition, delineation, and classification, for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**. v. 24, p. 5–22, 2013.
- KOENING, M.L.; ESKINAZI-LEÇA, E.; NEUMANN-LEITÃO, S.; MACÊDO, S.J. Impactos da construção do porto de Suape sobre a comunidade fitoplanctônica no estuário do rio Ipojuca (Pernambuco-Brasil). **Acta Bot. Bras.** v. 16, n. 4, p. 407-420, 2002.
- LAUT, L.L.M.; SILVA, F.S.; BONETTI, C.; FIGUEIREDO-JR, A.G.; CRAPEZ, M.A.C. Foraminíferos e atividade bacteriana aplicados no diagnóstico ambiental do estuário do rio Itacorubí, Florianópolis, SC. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 3, p. 565-578, 2007.
- LIMA, A.N. Condições ambientais do estuário do rio Formoso (Tamandaré/Pernambuco/Brasil): biomassa fitoplanctônica e hidrologia. 2016. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2016.**
- LINS, P.A.M. **Hidrologia e hidrodinâmica do baixo estuário do rio Ipojuca, PE. 2002. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2002.**
- LOSADA, A. P. M. **Biomassa fitoplanctônica correlacionada com parâmetros abióticos, nos estuários dos rios Ilhetas e Mamucaba, e na Baía de Tamandaré (Pernambuco – Brasil). 2002. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2000.**
- MAGALHÃES, G.M.O. **Produção de Copepoda do plâncton em um estuário impactado no Nordeste Brasileiro. 2014. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.**
- MANSO, V. A. V.; COUTINHO, P. N.; GUERRA, N. C.; JUNIOR, C.F.A.S. **Erosão e progradação do litoral brasileiro: Pernambuco (Editorial, p. 196)**. Brasília: MMA - Ministério do Meio Ambiente, 2006b.
- MARQUES, C. **Zona costeira brasileira: populações, cidades e ambiente**. In: Martine, G; Ojima, R.; Barbieri, A. F.; Carmo, R. L. (orgs). **População e Sustentabilidade na era das mudanças ambientais globais: Contribuições para uma agenda brasileira**. Belo Horizonte: ABEP, 2012.

MCLUSKY, D.S.; ELLIOTT, M. *The Estuarine Ecosystem; Ecology, Threats and Management*, third ed. **Oxford University Press**, Oxford, 216p, 2004.

MELO, U.; SUMMERHAYES, C.P.; TORNER, L.G. Biomassa fitoplanctônica e clorofila *a* como bioindicadores para análise estuarina. **Boletim técnico da Petrobras**. v. 18, n. 12, p.115, 1975.

MIRANDA L.B; CASTRO B.M; KJERFVE B. **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. São Paulo: EDUSP, 424p., 2002.

MMA. **Programa Revizee: Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva**: Relatório Executivo, 303p, 2006. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/revizee/\\_arquivos/rel\\_executivo\\_revizee.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/revizee/_arquivos/rel_executivo_revizee.pdf)>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2018.

MMA. **Áreas Úmidas - Convenção de Ramsar**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-aquatica/zonas-umidas-convencao-de-ramsar.html>>. Acesso em: 02 de agosto de 2018.

MONTEIRO, S.M.; EL-ROBRINI, M.; ALVES, I.C.C. Dinâmica sazonal de nutrientes em estuário amazônico. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 151-162, 2015.

MOREIRA, M. O. P. **Produção do fitoplanctônico em um ecossistema estuarino tropical (Estuário do Rio Cocó, Fortaleza, Ceará)**. 1994. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1994.

MORETTI, R.; COX, M. Impactos Socioambientais ao Longo da Implantação e Consolidação do Complexo Industrial Portuário de Suape - PE. **Gaia Scientia**, v. 10, n. 1, 2016.

MOURA, R.T. **Aspectos gerais da hidrobiologia do litoral Norte de Pernambuco, Brasil**. Brasília: Ibama, 137p., 2009.

(NRC) National Research Council. **Restoring and Protecting Marine Habitat: The role of Engineering and Technology**. DC: National Academy Press, 193p, 1994.

OMORI, M.; IKEDA, T. **Methods in marine zooplankton ecology**. New York: John Wiley & Sons, 332p., 1984.

OTSUKA, A.Y.; FEITOSA, F.A.N.; FLORES-MONTES, M.J.; SILVA, A. Dynamics of chlorophyll *a* and Oceanographic Parameters in the Coastal Zone: Barra das Jangadas-Pernambuco, Brazil. **Journal of Coastal Research**. v. 32, n. 3, p- 490-499, 2016.

NASCIMENTO, F.C.R.; MUNIZ, K.; FEITOSA, F.A.N.; ARAÚJO, J.P.; SILVA, R.M.S.; SILVA, G.S.; FLORES-MONTES, M.J. Disponibilidade nutricional da Baía do Pina e rio Tejiú (Recife-PE-Brasil) em relação aos nutrientes e biomassa primária (setembro/2000). **Tropical Oceanography**. 31(2): 149-169, 2003.

NEUMANN, V. H.; MEDEIROS, C.; PARENTE, L.; NEUMANN-LEITÃO, S. & KOENING, M. L. Hydrodynamism, sedimentology, geomorphology and plankton changes at Suape area (Pernambuco-Brazil) after a Port Complex Implantation. **Anais Academia Brasileira de Ciências**, v. 70, n. 2, p. 313-323, 1998.

- PAINTING, S.J.; DEVLIN, M.J.; MALCOLM, S.J.; PARKER, E.R.; MILLS, D.K.; MILLS, C.; TETT, P.; WITHER, A.; BURT, J.; JONES, R.; WINPENNY, K. Assessing the impact of nutrient enrichment in estuaries: susceptibility to eutrophication. **Mar.Pollution Bull.**, v. 55, p. 74-90, 2007.
- PAIVA, R.S.; ESKINAZI-LEÇA, E.; PASSAVANTE, J.Z.O.; SILVA-CUNHA, M.G.G.; MELO, N.F.A.C. Considerações ecológicas sobre o fitoplâncton da baía do Guarujá e foz do rio Guamá, Pará, Brasil. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, Belém, v. 1, n. 2, p. 133-146, 2006.
- PARSONS, T.R.; STRICKLAND, J.D.H. Discussion of Spectrophotometric Determination of Marine-plant Pigments, with Revised Equations for Ascertaining Chlorophylls and Carotenoids. **Journal of Marine Research**. v. 21, p. 155–163, 1963.
- PARSONS, T.R. The determination of photosynthetic pigments in sea water. A survey of methods. **UNESCO Monographs in Oceanographic Methodology**. no. 1, 17pp, 1966.
- PASSAVANTE, J.Z.O. **Produção primária do fitoplâncton do Canal de Santa Cruz (Itamaracá – Pernambuco)**. 1979. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.
- PASSAVANTE, J.Z.O.; KOENING, M.L. Estudo ecológico da região de Itamaracá (Pernambuco - Brasil). XXVI Clorofila *a* e material em suspensão no estuário do rio Botafogo. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**. 18: 207-230, 1984.
- PERUMAL, N.V.; MAYALAGU, R.; PERUMAL, P.; RAJASEKAR, K.T. Seasonal variations of plankton diversity in the Kaduviyar estuary, Nagapattinam, southeast coast of India. **Journal of Environmental Biology**, v. 30, n. 6, p. 1035-1046, 2009.
- PINCKNEY, J.L.; PAERL, H.W.; TESTER, P.A.; RICHARDSON, T.L. The role of nutrient loading and eutrophication in estuarine ecology. **Environ. Health Perspect.** 109 (5), 699-706, 2001.
- PRITCHARD, D.W. Salinity distribution and circulation in the Chesapeake Bay estuarine system. **Journal of Marine Research**, v.11, p. 106-123, 1952.
- PRITCHARD, D. W. What is an estuary: a physical viewpoint. **American Association for the Advancement of Science**, v. 83, p. 3–5, 1967.
- PRIYA, K.L.; JEGATHAMBAL, P.; JAMES, E.J. Hydrodynamic modeling of estuaries – a state of art. **International journal of Environmental sciences**, v. 3, n. 1, p. 233-240, 2012.
- RAJKUMAR, M.; PERUMAL, P.; ASHOK PRABU, V.; VENGADESH PERUMAL, N.; THILLAI RAJASEKAR, K. Phytoplankton diversity in Pichavaram mangrove waters from south-east coast of India. **Journal of Environmental Biology**, v. 30, p. 489–498, 2009.
- RESSURREIÇÃO, M.G. **Variação anual da biomassa fitoplanctônica na Plataforma Continental de Pernambuco: Perfil em frente ao Porto do Recife**. 1990. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1990.
- RODRIGUES, E.I.; CUTRIM, M.V.J.; ODILON, T.; MOREIRA, E. 2007. Relações entre as variáveis físicas, químicas e fitoplanctônicas de três áreas estuarinas da costa norte do Brasil -

São José de Ribamar, Cedral e Cajapió, Maranhão. **Arq. Ciências do Mar**, v. 43, n. 2, p. 45-54, 2010.

SAIFULLAH, A.S.M.; KAMAL, A.H.M.; IDRIS, M.H.; RAJAEI, A.H.; BHUIYAN, M.K.A. Phytoplankton in tropical mangrove estuaries: role and interdependency. **Forest Science and Technology**, v. 12, n. 2, p. 104-113, 2016.

SAL, S.; LÓPEZ-URRUTIA, Á. Comment: Temperature, nutrients, and the size-scaling of phytoplankton in the sea. **Limnology and Oceanography**, v. 56, n. 5, p. 1952,1955, 2011.

SANTIAGO, M.F.; PASSAVANTE, J.Z.O.; SILVA-CUNHA, M.G.G. Caracterização de parâmetros físicos, químicos e biológico em ambiente hipersalino, estuário do rio Pisa Sal (Galinhas, Rio Grande do Norte, Brasil). In: **Anais XIV Congresso Brasileiro de Engenharia de Pesca. Tropical Oceanography**, p. 854-856, 2005.

SANTIAGO, M.F.; SILVA-CUNHA, M.G.G.; NEUMANN-LEITÃO, S.; COSTA, K.M.P.; PALMEIRA, G.C.B.; NETO, F.F.P.; NUNES, F.S. Phytoplankton dynamics in a highly eutrophic estuary in tropical Brazil. **Brazilian journal of Oceanography**. v. 58, n. 3, p. 189-205, 2010.

SANTOS-FERNANDES, T.L.; PASSAVANTE, J.Z.O.; KOENING, M.L.; MACÊDO, S. J. Fitoplâncton do estuário do rio Jaguaribe (Itamaracá, Pernambuco, Brasil): Biomassa. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**. 26: 1-18, 1998.

SANTOS-JÚNIOR, A.C. **Estudo dos aportes continentais de carbono orgânico total em águas estuarinas do Litoral sul de Pernambuco, Brasil**. 2012. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

SCOR-UNESCO Working Group Number 17. Determination of photosynthetic pigments in sea water. **Unesco Monographs in Oceanographic Methodology**. no. 1, 9 pp., 1966.

SILVA, F.B. **Experimentos observacionais sobre o efeito da eutrofização na biologia do caranguejo *Uca leptodactyla* Rathbun, 1989 em áreas estuarinas do litoral de Pernambuco**. 2013. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

SILVA, M.A.M.S. **Biogeoquímica dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e biomassa fitoplanctônica no estuário do rio Cachoeira, Ilhéus-BA**. 2007. Dissertação (Mestrado em Sistemas aquáticos tropicais) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2007.

SILVA, M.H.; SILVA-CUNHA, M.G.G.; PASSAVANTE, J.Z.O.; GREGO, C.K.S.; MUNIZ, K. Estrutura sazonal e espacial do microfitoplâncton no estuário tropical do rio formoso, PE, Brasil. **Acta Bot. Bras.** 23(2): 355-368, 2009.

SILVA, M.H. **Estrutura e produtividade da comunidade fitoplanctônica de um estuário tropical (Sirinhaém, Pernambuco, Brasil)**. 2009. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

SILVA, N.B.A. **Diferentes classes de tamanho das células da comunidade fitoplanctônica ao longo de um gradiente trófico em ecossistema costeiro**. 2017. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

SOUZA, M.F.L. Variação sazonal da clorofila *a* e material em suspensão do sistema estuarino Piauí-Fundo-Real, Sergipe *In: SIMPÓSIO SOBRE OCEANOGRAFIA – IOUSP*, 1996, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: USP, 1996, p. 22.

SOUZA, M.F.L.; COUTO, E.C.G. Short-term changes and longitudinal distribution of carbon metabolism in the Piauí river estuary (Sergipe, Brazil). **Rev. Brasil. Biol.**, v. 59, n. 2, p. 195-202, 1999.

SOUZA, M.F.L.S.; EÇA, G.F.; SILVA, M.A.P.; AMORIM, F.A.C.; LÔBO, I.P. Distribuição de nutrientes dissolvidos e clorofila-*a* no estuário do rio Cachoeira, Nordeste do Brasil. **Atlântica**, Rio Grande, v. 31, n. 1, p. 107-121, 2009.

SMALL, C.; NICHOLLS, A. global analysis of human settlement in coastal zones. **J. Coastal Res** 19, 584-599, 2003.

STRICKLAND, J.D.; PARSONS, T.R. **A Practical Handbook of Seawater Analysis**. Ottawa: Fisheries research board of Canada. v. 167, p. 207–211, 1972.

STROHAECKER, T.M. A dinâmica socioespacial da zona costeira brasileira. In: XII ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA – EGAL. Montevideu, 16p., 2009. Disponível em: <<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Geografiasocioeconomica/Geografi aespacial/51.pdf>>. Acesso em: 04 de setembro de 2018.

TAVARES, J.L.; CALADO, A.L.A.; FONTES, R.F.C. Estudos iniciais para uso do índice TRIX para análise do nível de eutrofização no estuário do rio Potengi – Natal – RN – Brasil. **Rev. Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**. 7(3): 297-308, 2014.

TEIXEIRA, C.; ARANHA, F.J.; BARBIERI, R. & MELO, O.T. Produção primária e clorofila *a* do fitoplâncton e parâmetros físicos e químicos do estreito dos Coqueiros - Maranhão - Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**. 48: 29-39, 1988.

THOMAS, M.K. **The effect of temperature on the ecology, evolution, and biogeography of phytoplankton**. 2013. Dissertação (Mestrado em Zoologia) – Universidade de Michigan (EUA), Ann Arbor, 2013.

THOMPSON, P.L.; DAVIES, T.J.; E GONZALEZ, A. Ecosystem functions across trophic levels are linked to functional and phylogenetic diversity. **PLoS ONE**. v. 10, n. 2, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117595>>. Acesso em: 18 de agosto de 2018.

THURMAN H. V. AND TRUJILLO A. P. **Introductory Oceanography**. Prentice-Hall (Pearson Higher Education), 624p., 2004.

TUNDISI, J.G. A review of basic ecological processes interacting with production and standing-stock of phytoplankton in lakes and reservoirs in Brazil. **Hydrobiologia**. v. 100, p. 223-243, 1983.

TUNDISI, J.G.; HENRY, R. Effects of enrichment of summer surface phytoplanktonic community in a stratified tropical lake. **Revista Brasileira Biologia**, v. 46, n. 1, p. 231-237, 1986.

TRAVASSOS, R.K. **Determinação do carbono e nitrogênio orgânico particulado em ambientes oceânicos e estuarino-costeiro, na região Nordeste do Brasil.** 2014. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS (Brasil). Instituto de ciências biológicas e da saúde. *In: UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS (Brasil). **Histórico.*** [Maceió, AL]: Universidade Federal de Alagoas, 2018. Disponível em: <http://www.ufal.edu.br/unidadeacademica/icbs/institucional/historico>. Acesso em: 03 maio 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA (Brasil). Instituto de Geociências (IGEO). *In: UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA. **Histórico.*** [Salvador, BA]: Universidade Federal da Bahia, 2018. Disponível em: <http://www.twiki.ufba.br/twiki/bin/view/IGeo/Historico>. Acesso em: 03 maio 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Instituto de Ciências do Mar – Labomar. *In: UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Histórico.*** [Fortaleza, CE]: Universidade Federal do Ceará, 2018. Disponível em: <http://www.labomar.ufc.br/sobre-o-labomar/historico/>. Acesso em: 03 maio 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO. Centro de Ciências Biológicas e da Saúde. *In: UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO. **Histórico.*** [São Luís, MA]: Universidade Federal do Maranhão, 2018. Disponível em: [https://sigaa.ufma.br/sigaa/public/curso/portal.jsf?lc=pt\\_br&id=85800](https://sigaa.ufma.br/sigaa/public/curso/portal.jsf?lc=pt_br&id=85800). Acesso em: 03 maio 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO. Departamento de Oceanografia. *In: UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO. **Histórico.*** [Recife, PE]: Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <https://www.ufpe.br/docean>. Acesso em: 02 maio 2018.

ANJOS, Géssica.; CAVALCANTE, Jáder. UFMA recebe navio para estímulo à pesquisa e ao ensino na área de ciências do mar. São Luís, 17 ago. 2018, 11:06. **Portais.ufma.br.** Disponível em: <http://portais.ufma.br/PortalUfma/paginas/noticias/noticia.jsf?id=52499>. Acesso em: 03 de maio de 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE. GeoRioeMar. *In: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE. **Áreas de atuação.*** [Aracajú, SE]: Universidade Federal de Sergipe, 2018. Disponível em: <http://georioemar.ufs.br/pagina/4559>. Acesso em: 05 maio 2018.

UNESCO. Determination of photosynthetic pigments in sea water. Rapport of SCOR/UNESCO, 1. Paris, 69p, 1996.

VALENÇA, A.P.M.C.; SANTOS, P.J.P. Macrobenthic community for assessment of estuarine health in tropical areas (Northeast, Brazil): Review of macrofauna classification in ecological groups and application of AZTI Marine Biotic Index. **Marine Pollution Bulletin**, v. 64, n. 9, p. 1809-1820, 2012.

WAINGER L.A.; SECOR D.H; GURBISZ C.; KEMP W.M.; GLIBERT P.M.; HOUDE, E.D.; RICHKUS J.; BARBER M.C. Resilience indicators support valuation of estuarine ecosystem restoration under climate change. **Ecosystem Health and Sustainability**. v. 3, n. 4, 2017.

DOI: <<https://doi.org/10.1002/ehs2.1268>>

WU Z.H.; HE M.C., LIN C.Y. Environmental impacts of heavy metals (Co, Cu, Pb, Zn) in surficial sediments of estuary in Daliao river and Yingkou Bay (northeast China): concentration level and chemical fraction. **Environ Earth Sci**, v. 66, n. 8, p. 2417–2430, 2012c.

## APÊNDICE A - DADOS COMPLEMENTARES

**Tabela A1** – Dados de clorofila *a* total e fracionada com respectivos mínimos, máximos e valores centrais (quando disponíveis) para os estuários avaliados e consultados pela revisão bibliográfica. Legenda: QA – estado de conservação considerado pelo autor: C – conservado, P – poluído, n/a – Não especificado ou não se aplica.

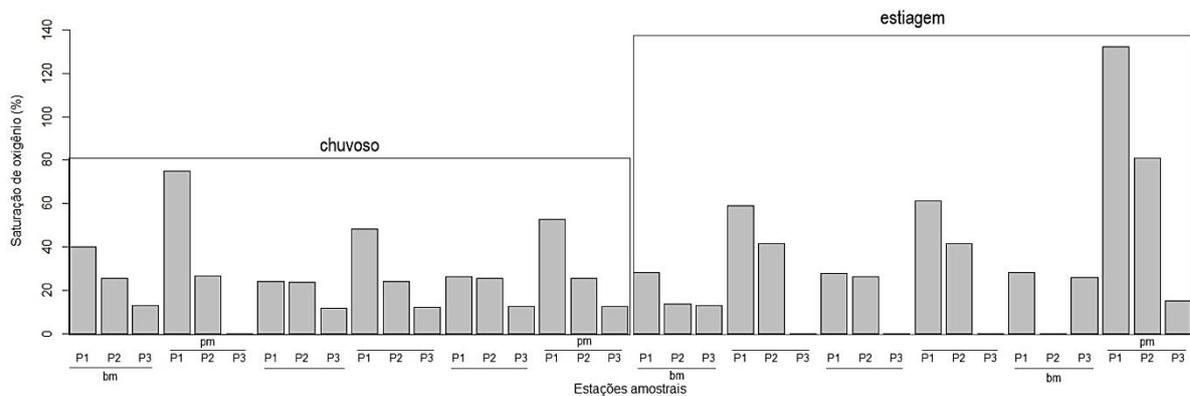
Autor/Ano	Estuário	UF	Clorofila <i>a</i> total (mg.m <sup>-3</sup> / µg.L <sup>-1</sup> )			Clorofila <i>a</i> fracionada (mg.m <sup>-3</sup> / µg.L <sup>-1</sup> )			QA
			<i>min.</i>	<i>máx.</i>	$\bar{x}$	<i>min.</i>	<i>máx.</i>	$\bar{x}$	
<b>Teixeira et al. (1988)</b>	Estreito dos Coqueiros	MA	3,1	20	–	–	–	–	n/a
	São José do Ribamar	MA	–	–	4,89	–	–	2,29	C
<b>Rodrigues et al. (2005)</b>	Cedral	MA	–	–	9,39	–	–	6,97	C
	Cajapió	MA	–	–	4,81	–	–	3,18	C
<b>Cavalcanti (2017)</b>	Est. do rio Paciência	MA	–	–	16,89	–	–	–	C
<b>Moreira et al. (1994)</b>	Est. do rio Cocó	CE	0,64	234,69	–	–	–	–	P
<b>Eschrique (2011)</b>	Est. do rio Jaguaribe	CE	1,83	37,59	–	–	–	–	P
<b>Santiago et al. (2005)</b>	Est. do rio Pisa Sal	RN		<1,97	–	–	–	–	n/a
<b>Tavares et al. (2014)</b>	Est. do rio Potengi	RN	5,5	182	–	–	–	–	P
	Est. do rio Paraíba do Norte	PB	0,92	23,6	–	–	–	–	C
	Est. do rio Mandacaru	PB	0,6	98,5	–	–	–	–	P
<b>Cavalcanti (2003)</b>	Est. do rio Tambiá	PB	3,08	40,4	–	–	–	–	P
<b>Passavante (1979)</b>	Canal de Santa Cruz	PE	2,65	38,58	–	0,73	11,9	–	C
<b>Feitosa et al. (1988)</b>	Bacia do Pina	PE	2,43	260,45	–	–	–	–	P
<b>Santos-Fernandes et al. (1998)</b>	Est. do rio Jaguaribe	PE	0,14	4,65	–	0,78	32,19	–	C
<b>Feitosa et al. (1999)</b>	Est. do rio Goiana	PE	5,81	13,55	–	–	–	–	P
<b>Nascimento et al. (2000)</b>	Bacia do Pina/ Est. do rio Tejipió	PE	25,65	105,2	–	–	–	–	P
<b>Branco et al. (2002)</b>	Barra das Jangadas	PE	0,57	49,84	–	–	–	–	P
<b>Losada (2000)</b>	Est. dos rios Ilhetas e Mamucabas	PE	0	22	–	–	–	–	C
<b>Grego et al. (2004)</b>	Est. do rio Timbó	PE	2,43	160,49	–	–	–	–	P
<b>Silva et al. (2004)</b>	Est. do rio Formoso	PE	2,43	70,22	–	–	–	–	C

<b>Bastos et al. (2005)</b>	Est. do rio Una	PE	1,68	36,3	—	—	—	—	C
<b>Grego et al. (2009)</b>	Est. do rio Ariquindá	PE	1,09	18,21	—	—	—	—	C
<b>Silva et al. (2009)</b>	Est. do rio Sirinhaém	PE	0,41	56,58	—	—	—	—	P
<b>Noriega et al. (2009)</b>	Barra das Jangadas	PE	7,76	158,6	—	—	—	—	P
<b>Santiago et al. (2010)</b>	Porto do Recife (est. do rio Capibaribe)	PE	3,3	54,4	—	—	—	—	P
<b>Bastos et al. (2011)</b>	Est. do rio Maracaípe	PE	1,11	18,72	—	—	—	—	C
<b>Aquino et al. (2012)</b>	Est. do rio dos Passos	PE	1,2	20,9	—	—	—	—	C
<b>Borges et al. (2013)</b>	Est. do rio Beberibe	PE	1,2	60,77	—	—	—	—	P
<b>Silva (2013)</b>	Est. do rio Paripe	PE	0,9	16,21	—	—	—	—	C
	Est. do rio Timbó	PE	0,81	6,54	—	—	—	—	P
	Bacia do Pina	PE	1,92	9,57	—	—	—	—	P
	Est. dos rios Ipojuca-Merepe	PE	0,85	3,32	—	—	—	—	C
	Est. do rio Maracaípe	PE	0,28	4,6	—	—	—	—	C
	Est. do rio Mamucabas	PE	0,38	3,18	—	—	—	—	P
<b>Cordeiro et al. (2014)</b>	Porto do Recife	PE	0,24	19,29	—	—	—	—	P
<b>Batista et al. (2014)</b>	Est. dos rios Ipojuca-Merepe	PE	*0,77	8,13	—	—	—	—	P
<b>Magalhães (2014)</b>	<b>Pluma:</b> Bacia do Pina	PE	1,42	30,32	—	—	—	—	n/a
<b>Castro et al. (2014)</b>	Est. do rio Carrapicho	PE	2,3	26,4	—	—	—	—	C
<b>Feitosa et al. (2014)</b>	Est. do rio Timbó	PE	2,16	37,99	—	—	—	—	P
<b>Otsuka et al. (2016)</b>	<b>Pluma:</b> Barra da Jangadas	PE	0,26	9,67	—	—	—	—	C
<b>Travassos (2016)</b>	Est. do rio Capibaribe	PE	3,81	171,59	—	—	—	—	P
	Est. do rio Jaboatão	PE	0,74	34,71	—	—	—	—	?
<b>Borges (2016)</b>	Est. do rio Capibaribe	PE	0,65	115,87	—	—	—	—	P
<b>Lima (2016)</b>	Est. do rio Formoso	PE	0,67	12,64	—	0,21	8,32	—	C
<b>Cordeiro (2017)</b>	CIPS	PE	0,04	3,48	—	0,02	2,73	—	P
<b>Silva (2017)</b>	Est. do rio	PE	4,76	79,69	—	1,28	28,35	—	P

Capibaribe									
<b>Cotovitz Jr. (2013)</b>	Canal Manguaba	AL	0,7	84,6	—	—	—	—	C
	Canal Mundaú	AL	0,3	41,8	—	—	—	—	C
<b>Souza et al. (1999)</b>	Est. do rio Piauí	SE	0,2	2,5	—	—	—	—	C
<b>Silva (2007)</b>	Est. do rio Cachoeiras	BA	0	368,88	—	—	—	—	P
<b>Souza et al. (2009)</b>	Est. do rio Cachoeiras	BA	0	39,4	—	—	—	—	P
<b>Melo-Magalhães et al. (2010)</b>	Est. do rio São Francisco	AL/SE	0,7	4,5	—	—	—	—	n/a

Fonte: Próprio autor.

**Figura A1** – Saturação de oxigênio dissolvido (%), em função da sazonalidade, espacialidade e regime de maré, no estuário do rio Merepe.



Fonte: Próprio autor.