



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

ALANNE SIMONE CAVALCANTE VIEIRA

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA CLOROFILA E VARIÁVEIS
AMBIENTAIS EM UM ESTUÁRIO HIPERSALINO TROPICAL (CEARÁ,
BRASIL)

FORTALEZA

2017

ALANNE SIMONE CAVALCANTE VIEIRA

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA CLOROFILA E VARIÁVEIS
AMBIENTAIS EM UM ESTUÁRIO HIPERSALINO TROPICAL (CEARÁ,
BRASIL)**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares.

Coorientadora: Dra. Hortência de Sousa Barroso

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

V713d Vieira, Alanne Simone Cavalcante.
DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA CLOROFILA E VARIÁVEIS AMBIENTAIS EM UM
ESTUÁRIO HIPERSALINO TROPICAL (CEARÁ, BRASIL) / Alanne Simone Cavalcante Vieira. – 2017.
59 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do
Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares.

Coorientação: Prof. Dr. Hortência de Sousa Barroso.

1. biomassa. 2. hipersalino. 3. hipereutrófico. I. Título.

CDD 551.46

ALANNE SIMONE CAVALCANTE VIEIRA

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA CLOROFILA E VARIÁVEIS
AMBIENTAIS EM UM ESTUÁRIO HIPERSALINO TROPICAL (CEARÁ,
BRASIL)**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares.
(Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Hortência de Sousa Barroso
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Msc. Carolina Coelho Campos
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A minha mãe e aos meus avós.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Ciências do Mar (Labomar), ao Laboratório de Plâncton (Labomar) e ao Laboratório de Efluentes e Qualidade de Água (EQUAL) pelo espaço físico e infraestrutura disponibilizada para a realização deste trabalho.

Ao Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo suporte financeiro na realização desse projeto.

Agradeço a minha família, principalmente a minha querida mãe que sempre incentivou e me ajudou na construção dessa caminhada. Seu suporte e dedicação foram indescritíveis.

A Hortência por ter aberto as portas para mim nesse projeto do estuário do rio Piranji. Agradeço imensamente pela excelente orientação e por todo aprendizado.

Ao professor Marcelo Soares, pela oportunidade de fazer parte do Laboratório de Plâncton, pela orientação e contribuições nesse trabalho.

A banca por dedicar um tempo precioso e colaborar com esse trabalho.

A todos os colegas de laboratório pelo suporte e amizade. Vocês fizeram a minha experiência mais divertida e construtiva.

A todos os colegas de curso, pelos quatro anos de graduação juntos, por todas as aulas de campo, e momentos de descontração e companheirismo.

“Uma flor nasceu na rua! Passem de longe,
bondes, ônibus, rios de aço do tráfego. Uma
flor ainda desbotada, ilude a polícia, rompe
o asfalto. ” (Carlos Drummond de Andrade)

RESUMO

Estuários são ecossistemas importantes para o desenvolvimento sustentável, porém pouco é conhecido sobre a sua dinâmica ambiental em regiões tropicais de baixa pluviosidade e altas taxas de evaporação. O objetivo desse estudo foi avaliar e correlacionar a Clorofila *a* com os parâmetros ambientais em um estuário hipersalino tropical (rio Piranji, Nordeste do Brasil). As amostras de água foram coletadas na superfície e fundo de três estações de coleta, bimestralmente, ao longo do ano de 2015. A concentração de clorofila *a* foi medida por espectofotometria. Obteve-se ainda registros de profundidade, salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), pH e nutrientes. Dados de precipitação pluviométrica, obtidos junto à FUNCEME, revelaram níveis pluviométricos de 902 mm no período estudado, ficando, assim, abaixo da média histórica para a região. A Zona eufótica variou de 0,8 a 4,1 m de profundidade; a temperatura de 25,6 a 29 °C e a salinidade de mesohalina a hiperhalina. Durante o período seco, o estuário foi caracterizado como inverso e apresentou hipersalinidade. As concentrações de OD ficaram entre 3,1 a 6,6 $\mu\text{g.L}^{-1}$; o pH manteve-se alcalino, revelando a influência marinha; os valores de nitrito variaram de valores indetectáveis a $2,85\pm 0,1 \mu\text{mol.L}^{-1}$; os de nitrato, de valores indetectáveis a $3,5\pm 0,1 \mu\text{mol.L}^{-1}$; os de nitrogênio amoniacal, de $0,8\pm 0,4$ a $40\pm 0,1 \mu\text{mol.L}^{-1}$; os de ortofosfato, de $0,1\pm 0,1$ a $3,2\pm 0,0 \mu\text{mol.L}^{-1}$; os de silicato, de $4,7\pm 0,3$ a $98,0\pm 0,5 \mu\text{mol.L}^{-1}$; a biomassa fitoplanctônica, de $1,0\pm 0,4$ a $42,9\pm 2,2 \text{mg.m}^{-3}$ e a feofitina, de $0,9\pm 0,1$ a $22,2\pm 1,4$, indicando tratar-se de um ambiente mesotrófico próximo à foz e hipereutrófico em estações mais continentais. De acordo com a Análise dos Componentes Principais (ACP), as variações temporais de clorofila *a* correlacionaram positivamente com a salinidade e negativamente com o Nitrogênio Inorgânico Total (NIIT) e com a precipitação. As variações espaciais de biomassa fitoplanctônica foram correlacionadas positivamente com sílica, ortofosfato, feofitina *a* e temperatura, ficando negativamente correlacionadas com a Zona eufótica e o OD. Os resultados forneceram um panorama da dinâmica ambiental de um ecossistema sob forte déficit hídrico, decorrente de anomalias na precipitação e impactos locais.

Palavras-chave: biomassa; hipersalino; hipereutrófico.

ABSTRACT

Estuaries and their environmental dynamics in tropical regions of low rainfall and high rates of evaporation are important ecosystems for sustainable development. This study aims evaluate and correlate Chlorophyll *a* with environmental parameters in a tropical hypersaline estuary (Piranji River, Northeast Brazil). Water samples were collected on the surface and the bottom at three collection stations, bimonthly in 2015. Chlorophyll *a* concentration was measured by spectrophotometry. Data from depth, salinity, temperature, dissolved oxygen (DO), pH and nutrients were recorded also. Rainfall data, obtained from FUNCEME, revealed a rainfall level of 902 mm in the studied period, falling below the historical average for the region. The euphotic zone varied from 0.8 to 4.1 m depth; temperature varied from 25.6 to 29°C and salinity varied from mesohaline to hyperhaline. During dry period, the estuary was characterized by inverse and hypersalinity. DO concentrations were between 3.1 and 6.6 µg.L⁻¹; pH remained alkaline, revealing the marine influence; nitrite values ranged from undetectable values to 2.85 ± 0.1 µmol.L⁻¹; nitrate ranged from undetectable values to 3,5 ± 0,1 µmol.L⁻¹; ammoniacal nitrogen ranged from 0.8 ± 0.4 to 40 ± 0.1 µmol.L⁻¹; orthophosphate ranged from 0.1 ± 0.1 to 3.2 ± 0.0 µmol.L⁻¹; silicate ranged from 4.7 ± 0.3 to 98.0 ± 0.5 µmol.L⁻¹; phytoplanktonic biomass ranged from 1.0 ± 0.4 to 42.9 ± 2.2 mg.m⁻³ and feofitine ranged from 0.9 ± 0.1 to 22.2 ± 1.4, what indicated a mesotrophic environment close to the river mouth and hypereutrophic at continental collection stations. Principal Component Analysis (PCA) revealed temporal variations of Chlorophyll *a* correlated positively with salinity and negative with Total Inorganic Nitrogen (TIN) and precipitation. Spatial variations of phytoplankton biomass were positively correlated with silica, orthophosphate, phaeophytin and temperature and negative with euphotic zone and DO. These results are an overview of the environmental dynamics of an ecosystem under severe water deficit caused by precipitation anomalies and local impacts.

Keywords: biomass; hypersaline; hypereutrophic

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Tipos de estuário com base no balanço de água.....	17
Figura 2 - Exemplos de fitoplâncton marinho. (a) <i>Caloneis</i> (Bacillariophyta). (b) <i>Chaetoceros</i> (Bacillariophyta). (c) <i>Ceratium</i> (Dinophyceae). (d) <i>Noctiluca</i> (Dinophyceae). (e) <i>Navicula</i> (Bacillariophyta).....	19
Figura 3 - Estuário do rio Piranji.....	27
Figura 4 - Área de estudo e pontos de coleta no estuário do rio Piranji (CE).....	29
Figura 5 - Amostragem e determinação da Clorofila a e Feofitina a.....	30
Figura 6- Amostras refrigeradas. B) Filtração com auxílio de uma bomba. C) amostradas para congelamento.....	31
Figura 7 A) Extração com acetona 90%. B) Centrifugação das amostras. C) Leitura no espectrofotômetro.....	31
Figura 8 - Total de chuvas (JAN/2015 a DEZ/2015) e a média histórica mensal de chuvas (1982-2014).....	35
Figura 9 - Variação espacial e temporal média (superfície e fundo) de temperatura da água no estuário do Rio Piranji (CE).....	36
Figura 10 - Variação espacial e temporal do oxigênio dissolvido no estuário do Rio Piranji (CE).....	36
Figura 11 - Variação espacial e temporal da saturação de oxigênio no estuário do Rio Piranji (CE).....	36
Figura 12 - Variação sazonal e temporal média (superfície e fundo) do pH no estuário do Rio Piranji (CE).	37
Figura 13 - Variação espacial e sazonal média (superfície e fundo) da salinidade no estuário do Rio Piranji (CE).....	39
Figura 14 - Concentrações médias (superfície e fundo) de nitrito com desvio padrão nas estações do estuário do Rio Piranji (CE).....	39
Figura 15 - Concentrações médias (superfície e fundo) de nitrato com desvio padrão nas três estações do estuário do Rio Piranji (CE).....	39
Figura 16 - Concentrações médias (superfície e fundo) de nitrogênio amoniacal com desvio padrão nas estações do estuário do Rio Piranji (CE).....	40
Figura 17 - Concentrações médias (superfície e fundo) de ortofosfato com desvio padrão nas estações do estuário do Rio Piranji (CE).....	41

Figura 18 - Concentrações médias (superfície e fundo) de Sílica com desvio padrão na estação 1 do estuário do Rio Piranji (CE).	41
Figura 19 - Concentrações médias (superfície e fundo) de Clorofila <i>a</i> e feofitina <i>a</i> com desvio padrão na estação 1 do estuário do Rio Piranji (CE).....	42
Figura 20 - Concentrações médias (superfície e fundo) de Clorofila <i>a</i> e feofitina <i>a</i> com desvio padrão na estação 2 do estuário do Rio Piranji (CE).....	43
Figura 21 - Concentrações médias (superfície e fundo) de Clorofila <i>a</i> e feofitina <i>a</i> com desvio padrão na estação 3 do estuário do Rio Piranji (CE).....	43
Figura 22 - Variação espacial e temporal da Clorofila <i>a</i> , Feofotina <i>a</i> e razão Clorofila <i>a</i> /Feofitina <i>a</i> no estuário do rio Piranji (CE).....	45
Figura 23 - Diagrama de ordenação obtida por análise de componentes principais realizada a partir de dados das variáveis abióticas e bióticas do estuário do rio Piranji - CE nos períodos seco e chuvoso.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produtividade primária comparada de vários ecossistemas em relação à produtividade dos estuários.....	21
Tabela 2 - Características médias de ambientes marinhos em diferentes estados tróficos. NT =nitrogênio total, PT=fósforo total, Clor=clorofila a e SD=transparência do disco de Secchi.	22
Tabela 3 - Biomassa fitoplanctônica em estuários brasileiros.....	23
Tabela 4 - Variação espacial e sazonal da profundidade do Disco de Secchi (m), Zeu (m) no estuário do Rio Piranji (CE).....	34
Tabela 5 - Análise dos Componentes Principais (ACP) da clorofila a e variáveis ambientais no estuário do rio Piranji-CE.....	46

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1 O ambiente estuarino.....	16
2.2 Fitoplâncton estuarino.....	18
2.3 Produtividade Primária e biomassa em estuários.....	20
2.3.1 <i>Nutrientes</i>	21
2.3.2 <i>Luz</i>	24
2.3.3 <i>Aporte Fluvial</i>	24
2.3.4 <i>Salinidade</i>	25
3. OBJETIVOS.....	26
3.1 Objetivo Geral.....	26
3.2 Objetivos específicos.....	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4.1 Área de estudo.....	27
4.2 Metodologia.....	28
4.3. Análise dos dados.....	32
4.4 Dados pluviométricos.....	32
5. RESULTADOS.....	34
5.1 Variáveis abióticas da água.....	34
5.1.1 <i>Profundidade</i>	34
5.1.2 <i>Temperatura</i>	34
5.1.3 <i>Oxigênio e Saturação do Oxigênio</i>	35
5.1.4 <i>Potencial Hidrogeniônico (pH)</i>	36
5.1.5 <i>Salinidade</i>	37
5.3 Nutrientes.....	38
5.3.1 <i>Nitrato</i>	38
5.3.2 <i>Nitrato</i>	39
5.3.3 <i>Nitrogênio Amoniacal</i>	40
5.3.4 <i>Ortofosfato</i>	40
5.3.5 <i>Sílica</i>	41
5.4 Clorofila <i>a</i> e feofitina <i>a</i>	42

5.5 Análise dos Componentes Principais.....	46
6. DISCUSSÃO.....	48
7. CONCLUSÕES.....	51
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
REFERÊNCIAS.....	53

1. INTRODUÇÃO

Os estuários são ambientes de transição entre o continente e o oceano e sofrem influência do aporte de água doce e marinha (ELLIOT; McLUSKY, 2002). Estas condições levam a variações espaciais e temporais nas variáveis abióticas como a salinidade, turbidez e concentrações de nutrientes (ELLIOT; McLUSKY, 2002). Esses ambientes possuem características próprias e distintas, apresentando grande variabilidade nas características físicas, biológicas e químicas sob a influência de aspectos climáticos e antrópicos (LANCELOT; MUYLAERT, 2011).

O gradiente de salinidade é uma característica fundamental em sistemas estuarinos, definindo as características funcionais e estruturais da biota aquática (TELESH; KHLEBOVICH, 2010). Em estuários situados em clima árido e quente com altas taxas de evaporação, déficit pluviométrico prolongado, a condição de hipersalinidade pode ocorrer (POTTER *et al.*, 2010; WOOLDRIDGE *et al.*, 2016). O estado do Ceará (Nordeste brasileiro) apresenta clima semiárido e em períodos de déficit hídrico prolongado pode ocorrer a hipersalinidade sazonal em seus estuários (BARROSO, 2014) podendo fornecer um modelo (estudo de caso) importante para compreender a dinâmica dos sistemas estuarinos no mundo.

Em ambientes estuarinos, a base da teia trófica é composta pelo fitoplâncton, que são algas microscópicas que vivem à deriva na coluna d'água (AZEVEDO *et al.*, 2008). O fitoplâncton em estuários tem papel fundamental, respondendo pelo menos pela metade da produção primária, sendo essencial para o sustento da teia alimentar nesses ambientes (PEARL; JUSTIC, 2012). Essa comunidade biológica apresenta variações sazonais e temporais sob a ação de variáveis bióticas e abióticas (LOURENÇO; MARQUES JR, 2008).

Esses organismos são considerados bons indicadores do estado trófico da água dada a sua sensibilidade a alterações nas cargas de nutrientes. Através de medidas de clorofila *a* pode-se avaliar a biomassa do fitoplâncton, avaliando a variabilidade sazonal e espacial das propriedades dos ecossistemas costeiros (BORJA *et al.*, 2012; CLOERN; JASSBY, 2010) As mudanças climáticas e impactos locais estão alterando variáveis físicas, químicas e biológicas, consequentemente mudanças na comunidade dos produtores primários repercutem em alterações em todo o ecossistema (WINDER;

SOMMER, 2012).

Considerando a lacuna do conhecimento da dinâmica de estuários tropicais em regiões com déficit de chuvas e altas taxas de evaporação, tem-se por meta avançar neste tema com esta pesquisa. O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a distribuição temporal e espacial da biomassa fitoplanctônica através das concentrações de clorofila *a* no estuário tropical do rio Piranji. Além disso, variáveis físicas e químicas foram analisadas afim de avaliar sua influência na comunidade fitoplanctônica, em especial a salinidade e a precipitação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O ambiente estuarino

A maneira mais simples de se reconhecer um estuário baseia-se em suas características físicas. Assim, a palavra estuário tem sua origem no século XVI, derivada do adjetivo latino *aestuarium*, que significa pântano ou canal, que deriva do latim *aestus*, que significa maré ou movimento ondulatório (ELLIOTT; McLUSKY, 2002).

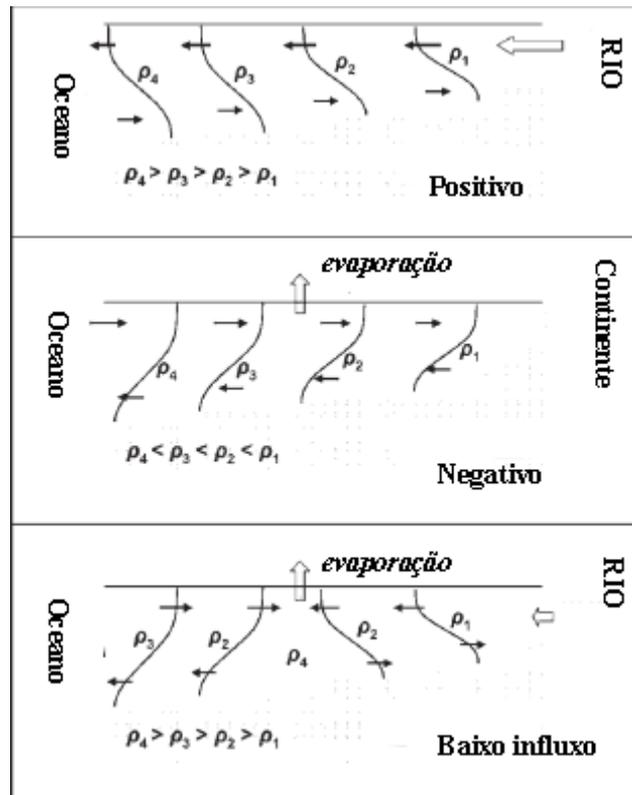
Nesses ambientes, algumas características comuns podem ser notadas, ao longo de um gradiente de condições ambientais. Mudanças claras podem ser percebidas na salinidade, nos sedimentos, alterações na turbidez da coluna de água, na composição química, incluindo mudanças em nutrientes, gases dissolvidos e metais traço e também uma redução gradual na diversidade de espécies (ELLIOTT; McLUSKY, 2002).

Estuários podem ser classificados como positivos, negativos (ou inversos) e de baixo-influxo, com base no padrão de distribuição de salinidade (VALLE-LEVINSON, 2010). Estuários positivos são aqueles onde a soma da descarga fluvial, precipitação e derretimento de gelo são maiores que a perda de água para a evaporação ou congelamento, estabelecendo um gradiente de densidade longitudinal (VALLE-LEVISSON, 2010)

Estuários inversos possuem gradiente de densidade longitudinal oposto aos estuários positivos, ou seja, a densidade aumenta em direção ao continente (VALLE-LEVINSON, 2010). Esse tipo de estuário é tipicamente encontrado em regiões áridas, onde as perdas por evaporação podem superar a soma das entradas de água (VALLE-LEVINSON, 2010).

Estuários de baixo influxo ocorrem em regiões de elevadas taxas de evaporação, mas com pequena influência da descarga do rio (da ordem de poucos m^3/s) (VALLE-LEVINSON, 2010). Nesse tipo de estuário, uma zona de máxima salinidade pode ocorrer devido ao processo de evaporação no período seco ou estação quente (VALLE-LEVINSON, 2010). Esse tipo de estuário é propenso a problemas de qualidade de água devido ao seu baixo fluxo (VALLE-LEVINSON, 2010). (FIGURA 1).

FIGURA 1: Tipos de estuário com base no balanço de água.



Fonte: VALLE-LEVISON, 2010

Em regiões áridas e quentes muitos estuários apresentam condições de hipersalinidade (salinidade no estuário é maior que a do oceano adjacente) (WOOLDRIDGE *et al.*, 2016). Nessas regiões muitos estuários perdem a conectividade com o mar devido a formação de uma barra de areia em suas bocas em alguns períodos, podendo se tornar hipersalinos quando há altas taxas de evaporação durante períodos secos e quando as entradas de água doce e marinha são insignificantes (POTTER *et al.*, 2010).

A condição de hipersalinidade é encontrada em várias regiões do mundo como por exemplo, na África do Sul (FAMBO; TIROK, 2015; WOOLDRIDGE *et al.*, 2016), na Austrália (ADUTTA *et al.*, 2011; LETERME *et al.*, 2015), América do Norte, (ALEXANDER & DUNTON, 2002; LARGIER *et al.*, 1997). No entanto, na maioria dos estuários, a hipersalinidade é sazonal e com o aumento das descargas fluviais ocasionadas pelas chuvas, os estuários podem se apresentar com um gradiente de salinidade crescente em direção ao oceano (POTTER *et al.*, 2010; WOOLDRIDGE *et*

al., 2016).

De acordo com a distribuição vertical da salinidade, os estuários podem ser classificados em intensamente estratificados (cunha salina), parcialmente misturados, verticalmente homogêneos e lateralmente homogêneos (PINHEIRO, 2003). Os estuários intensamente estratificados, usualmente apresentam pequenas amplitudes de marés, pequena razão largura/profundidade e grandes vazões. Esses sistemas possuem estratificação bem marcada, onde a água doce, mais leve, flui em direção ao mar sobre a água marinha mais densa, formando duas camadas distintas (PINHEIRO, 2003).

Os estuários parcialmente misturados apresentam proporção largura/profundidade maior que nos estuários de cunha salina. São tipicamente rasos e largos e ainda apresentam os fluxos diferenciados das duas camadas e a presença de haloclina. Em estuários verticalmente homogêneos, as grandes amplitudes de maré juntamente com pequenas razões de fluxos e correntes de cisalhamento no fundo erodem a haloclina por completo. As condições lateralmente homogêneas podem ser geradas em sistemas estreitos devido ao cisalhamento lateral suficientemente intenso, fazendo com que a salinidade aumente gradativamente em direção ao oceano (PINHEIRO, 2003).

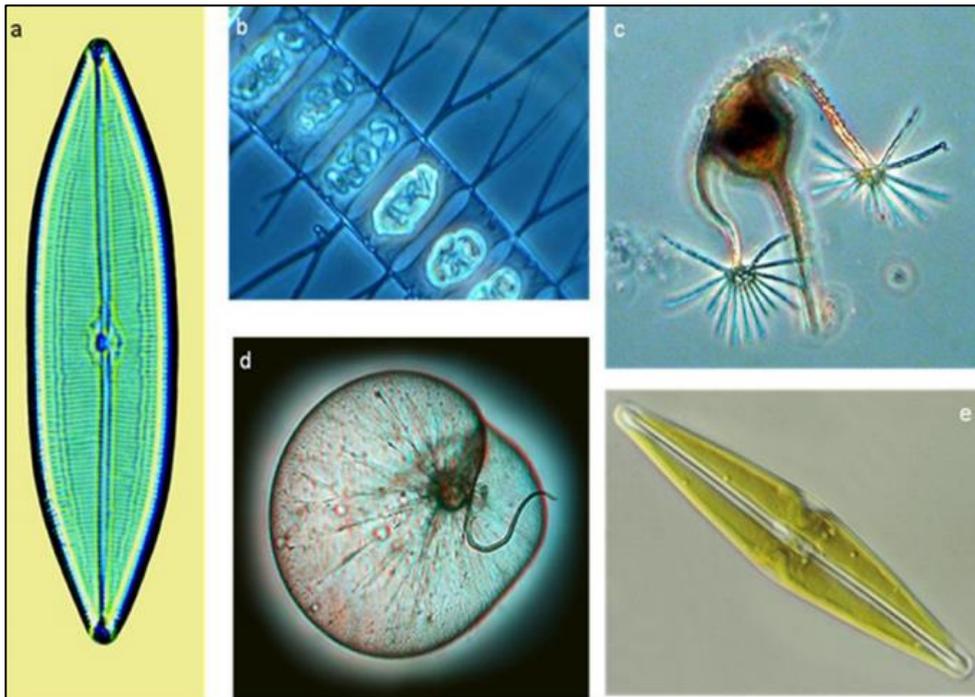
A necessidade de classificação e definição para estuários ultrapassa a necessidade científica. Atualmente com o aumento da consciência ambiental, das legislações e protocolos, existe também a necessidade de definições legais, de conservação e definições socioeconômicas. Sintetizar informações sobre o funcionamento desses ecossistemas permite o planejamento de estratégias de gestão (McLUSKY & ELLIOTT, 2002).

2.2 Fitoplâncton estuarino

Estuários são ambientes que suportam altas taxas de metabolismo e produção primária porque recebem grandes aportes de nutrientes e carbono orgânico tanto do continente como dos oceanos (CLOERN *et al.*, 2014). São ambientes ricos em matéria orgânica, apresentando alta taxa de produtividade primária e espécies adaptadas às condições únicas deste ecossistema de transição (ODUM, 2011).

Tal como em outros ecossistemas aquáticos, em estuários, os organismos fitoplanctônicos são os principais produtores primários e fornecedores de carbono orgânico para os demais níveis tróficos (REYNOLDS, 2006). Fitoplâncton são microrganismos fotossintéticos, adaptados para viver em parte ou continuamente em águas abertas (FIGURA 2). Essas algas planctônicas compreendem vários grupos taxonômicos como, por exemplo, clorófitas, crisófitas, criptófitas, cianobactérias, diatomáceas e dinoflagelados (PEARL; JUSTIC, 2012).

Figura 2 - Exemplos de fitoplâncton marinho. (a) *Caloneis* (Bacillariophyta). (b) *Chaetoceros* (Bacillariophyta). (c) *Ceratium* (Dinophyceae). (d) *Noctiluca* (Dinophyceae). (e) *Navicula* Bacillariophyceae



Fonte: SILVA; FUJII, 2010

O fitoplâncton pode ser encontrado como células solitárias, em colônias ou em filamentos e habitam a zona eufótica da coluna d'água em águas oceânicas ou ambientes costeiros (KENNISH, 1990). Esses organismos são geralmente categorizados com base no tamanho das células como picofitoplâncton (0.2 – 2 μm), nanofitoplâncton (2 – 20 μm), microfitoplâncton (20 – 200 μm), mesofitoplâncton (200 μm – 2 mm) e macrofitoplâncton (> 2 mm) (PEARL; JUSTIC, 2012; REYNOLDS, 2006).

As células fitoplanctônicas tem crescimento rápido e podem responder rapidamente a alterações no ecossistema, como impactos químicos, físicos e bióticos (PEARL&JUSTIC, 2012). As comunidades costeiras de fitoplâncton apresentam

distribuição sazonais e espaciais fortes e sua variabilidade afeta diretamente a qualidade da água, a ciclagem biogeoquímica e o fornecimento de alimentos aos organismos consumidores (CLOERN; JASSBY, 2009; PEARL; JUSTIC, 2012).

2.3 Produtividade Primária e biomassa em estuários

A maioria dos estuários são sistemas heterotróficos, onde a respiração total anual excede a produção primária bruta, fazendo desses ecossistemas exportadores de CO₂ para a atmosfera (CLOERN *et al*, 2014). O fitoplâncton é um dos maiores responsáveis pela fotossíntese em estuários e no mar, sendo essencial na iniciação do fluxo de energia (KENNISH, 1990). A energia e compostos químicos contidos na biomassa fitoplanctônica é transferida para os próximos níveis tróficos, impulsionando a produtividade secundária e os estoques pesqueiros (CLOERN *et al*, 2014; HARDING *et al*, 2015). A biomassa pode ser entendida como o somatório da massa orgânica viva de todos os indivíduos de uma população ou comunidade em um determinado espaço e num dado instante (LOURENÇO; MARQUES JR, 2009).

A produção primária, através dos fluxos de energia e matéria, é essencial para o sustento de todas as formas de vida, estruturando todos os ecossistemas (LOURENÇO; MARQUES JR, 2009). Ela corresponde à biomassa que é acrescida pela fotossíntese ou quimiossíntese em um dado intervalo de tempo, subtraindo-se as perdas ocorridas nesse período (ESTEVES, 1998). A produtividade primária é a taxa de produção primária em um determinado período de tempo, associando-se diretamente a velocidade ou intensidade de realização de produção primária por espaço físico e tempo determinados, podendo ser expressa em termos de matéria orgânica, carbono ou energia, oxigênio dentre outros (ESTEVES, 1998; LOURENÇO; MARQUES JR, 2009).

A produção primária bruta compreende ao aumento da biomassa, incluindo as perdas de matéria orgânica utilizada na respiração e no metabolismo dos organismos durante o período de medição (ODUM, 2004). Dessa forma, apenas uma parcela menor de matéria orgânica é disponibilizada para transferência e uso de outros organismos (ESTEVES, 1998; LOURENÇO; MARQUES JR, 2009). Já a produção primária líquida refere-se à produção primária, deduzido as perdas relacionadas ao processo de respiração e excreção (ESTEVES, 1998).

Algumas das metodologias mais usadas para estimar a biomassa do fitoplâncton são a contagem de células, peso seco, sensoriamento remoto, pigmentos, entre outros (ESTEVEES, 1998; LOURENÇO; MARQUES JR, 2009). A biomassa do fitoplâncton pode ser avaliada através de pigmentos como a clorofila e feopigmentos (produtos da degradação da clorofila) (ESTEVEES, 1998). A clorofila *a* é um componente presente em todos os organismos planctônicos fotossintetizantes e é rotineiramente medida em programas de pesquisa e monitoramento (CLOERN; JASSBY, 2010; LOURENÇO; MARQUES JR, 2009).

Cada pigmento absorve luz em diferentes comprimentos de onda. Na fotossíntese, as clorofilas são os principais pigmentos e têm papel fundamental no processo. As clorofilas *a* e *b* apresentam máximo de absorção na região do azul violeta (430 nm) e na região do vermelho (663-665 nm) (PINTO-COELHO, 2000).

A biomassa fitoplanctônica apresenta variações sazonais e espaciais e mudanças ao longo dos planos horizontais e verticais que se devem a fatores como salinidade, temperatura, chuvas, luz, nutrientes e mistura da coluna d'água (KENNISH, 1990). Em termos gerais, a produtividade e composição do fitoplâncton em estuários é controlada pela temperatura da água, as concentrações e formas de nutrientes, controle *top-down*, luminosidade, assim como a variabilidade das condições climáticas (CLOERN *et al.*, 2014; PEARL & JUSTIC, 2012; HARDING *et al.*, 2015) (TABELA 1).

Tabela 1 - Produtividade primária comparada de vários ecossistemas em relação à produtividade dos estuários.

Ecossistema	Produção primária bruta Kcal.m⁻² .ano⁻¹	Total para o planeta Terra 10¹¹.kcal. ano⁻¹ (todos os sistemas)
Estuários e barreiras de coral	20.000	4
Florestas tropicais	20.000	29
Áreas agrícolas fertilizadas	12.000	4,8
Lagos eutróficos	10.000	-
Áreas alagadas eutróficas	10.000	-
Áreas agrícolas não fertilizadas	8.000	3,9
Regiões costeiras de ressurgência	6.000	0,2
Pastagens	2.500	10,5

Lagos Oligotróficos	1.000	-
Oceanos (águas oceânicas)	1.000	32,6
Desertos e tundras	200	0,8

Fonte: TUNDISI, 2008 *apud* HORNE & GOLDMAN (1994)

A complexa interação entre os processos que ocorrem ao longo das bacias oceânicas regionais e dentro das bacias hidrográficas impulsionam o desenvolvimento e dominância de espécies fitoplanctônicas nos estuários (LANCELOT; MUYLAERT, 2011).

2.3.1 Nutrientes

A qualidade da água e as comunidades biológicas dos estuários recebem forte influência das entradas de água doce que trazem sedimentos em suspensão e nutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P) e silício (Si) e também contaminantes do escoamento terrestre e das descargas de águas residuais (LANCELOT; MUYLAERT, 2011). O nitrogênio e o fósforo são os principais nutrientes que limitam o crescimento de plantas terrestres e tem forte influência sobre o crescimento de algas e plantas vasculares em ecossistemas de água doce e marinho (SMITH *et al*, 1999).

Em termos globais, em ambientes de água doce, o fósforo é o nutriente que limita o crescimento de organismos fotossintéticos, já o nitrogênio apresenta fortes correlações com a produção fitoplanctônica em ambientes marinhos e estuarinos (ANDERSON *et al*, 2002). Esses nutrientes são necessários para a biossíntese de novas células fitoplanctônicas (TELESH; KHLEBOVICH, 2010). Também são necessários elementos traços como ferro, manganês, zinco, cobre cobalto e molibdênio, que podem limitar o crescimento do fitoplâncton se presentes em quantidades insuficientes (KENNISH, 1990).

De acordo com o suprimento de nutrientes limitantes pode-se categorizar os ecossistemas aquáticos (TABELA 2). Águas que recebem altas taxas de entrada de nutrientes são denominadas eutróficas (bem nutridas), águas pobres em nutrientes são denominadas oligotróficas, águas com suprimentos médios de nutrientes são classificadas como mesotróficas e águas hepereutróficas são aquelas com entradas excessivas de nutrientes (SMITH *et al*, 1999)

Tabela 2 - Características médias de ambientes marinhos em diferentes estados tróficos. NT =nitrogênio

total, PT=fósforo total, Clor=clorofila a e SD=transparência do disco de Secchi.

Estado trófico	TN (mg.m ³)	TP (mg.m ³)	Clor (mg.m ³)	SD (m)
Oligotrófico	< 260	< 10	< 1	> 6
Mesotrófico	260 - 350	10 – 30	1 – 3	3 - 6
Eutrófico	350 - 400	30 – 40	3 – 5	1.5 - 3
Hipereutrófico	> 400	> 40	> 5	< 1.5

Fonte: SMITH *et al.*, 1999

A tabela abaixo apresenta medidas de máxima biomassa fitoplanctônica (clorofila *a*) encontrada em alguns estuários brasileiros (TABELA 3). Pela classificação proposta por SMITH *et al.*, 1999, esses sistemas estuarinos encontram-se entre eutróficos e hipereutróficos. De acordo com os autores desses estudos, esses estuários se encontram sobre forte pressão antrópica. Destaca-se entre os impactos mais significante o despejo de efluentes domésticos e industriais, a aquicultura e a agricultura (GREGO *et al.*, 2004; AZEVEDO *et al.*, 2008; SANTOS *et al.*, 2009; SANTIAGO *et al.*, 2005; BARROSO *et al.*, 2016).

Tabela 3 - Biomassa fitoplanctônica em estuários brasileiros.

Localização	Biomassa (mg.m ⁻³)	Fonte
Estuário do rio Timbó – PE	160,4	GREGO <i>et al.</i> , 2004
Golfão Maranhense – MA	72, 23	AZEVEDO <i>et al.</i> , 2008
Estuário da Bacia do Pina – PE	187,4	SANTOS <i>et al.</i> , 2009
Estuário do rio Pisa Sal – RN	106,7	SANTIAGO <i>et al.</i> , 2005
Estuário do rio Ceará – CE	156,4	BARROSO, 2016
Estuário do rio Pacoti – CE	4,7	BARROSO, 2016
Estuário do rio Cocó – CE	80,8	BARROSO, 2016

Fonte: O autor

As atividades humanas causam pressões no funcionamento dos ecossistemas aquáticos, causando impactos nos ciclos biogeoquímicos globais de carbono (C), nitrogênio (N) e fósforo (P) (SMITH *et al.*, 1999). Alterações nas cargas de nutrientes podem acarretar mudanças maciças na dinâmica fitoplanctônica, alterar a sucessão temporal e a amplitude de suas flutuações (WINDER; CLOERN, 2010).

O enriquecimento excessivo de nutrientes, principalmente de nitrogênio e fósforo pode levar a eutrofização nos corpos d'água (ANDERSON *et al.*, 2002). As fontes de nutrientes que corroboram para o crescimento de algas incluem esgotos, deposição atmosférica, fluxo de água subterrâneo, escoamento e descargas da

aquicultura, uso de fertilizantes agrícolas e combustão de combustíveis fósseis (ANDERSON *et al.*, 2002; SMITH *et al.*, 1999).

Como efeito da eutrofização pode-se citar o aumento da biomassa fitoplanctônica, os *blooms* de algas nocivas, alteração na composição de espécies de algas, perda na qualidade da água, perda de habitats e recursos naturais e hipóxia (depleção de oxigênio) (ANDERSON *et al.*, 2002; RABALAIS *et al.*, 2009; SMITH *et al.*, 2006).

2.3.2 Luz

A radiação solar é a fonte de energia para a produção primária através da fotossíntese fitoplanctônica, que suporta as cadeias alimentares estuarinas (MIRANDA, 2002). A luz é uma condição essencial para o crescimento do fitoplâncton, sendo a turbidez o principal fator de controle da disponibilidade de luz ((LANCELOT; MUYLAERT, 2011).

A elevada turbidez se dá devido à alta concentração de sedimentos, sendo estes influenciados pela ação das correntes de maré ou vento e ondas que ressuspendem esses sedimentos em estuários rasos, pela acumulação de material em suspensão nas zonas de máxima turbidez e pela descarga dos rios que trazem grande quantidade de material em suspensão (LANCELOT; MUYLAERT, 2011).

2.3.3 Aporte fluvial

Alguns processos promovem e outros suprimem a produção e a biomassa fitoplanctônica (CLOERN *et al.*, 2014). A descarga fluvial influencia no tempo de residência da água em muitos estuários (LANCELOT; MUYLAERT, 2011). Populações autóctones se desenvolvem em estuários cujo tempo de residência é maior que algumas semanas. Já as populações alóctones se desenvolvem em estuários com curto tempo de residência da água (KENNISH, 1990).

As entradas de água doce trazem nutrientes e sedimentos que reduzem a disponibilidade de luz o que limita a produção do fitoplâncton. Em períodos de alta vazão, as células desses organismos são arrastadas em direção ao mar, esse transporte advectivo pode ser mais rápido do que as taxas de crescimento e acúmulo de biomassa (CLOERN *et al.*, 2014). Na baía de Chesapeake, as condições climáticas condicionaram variações nas entradas de nutriente influenciando nas concentrações de clorofila *a*. Em

anos chuvosos, o carreamento de materiais dissolvidos suspensos é maior, o que interfere na qualidade óptica da água, influenciando na penetração de luz (HARDING *et al.*, 2015). No estuário Gironde, na França, a clorofila *a* apresentou um pico nas zonas mais claras, posteriores a zonas de máxima turbidez, com valores mais altos em temperatura mais altas (IRIGOIEN; CASTEL, 1997).

2.3.4 Salinidade

A salinidade é um dos principais aspectos característicos de um ambiente estuarino, servindo para delimitar o início e o término de um estuário (FEITOSA, *et al.* 1999; TELESH; KHLEBOVICH, 2010). A salinidade influencia na taxa de divisão das células, na ocorrência, na produtividade fitoplanctônica e atua como principal fator de distribuição de fitoplâncton definindo as características estruturais e funcionais da biota aquática em estuários (LANCELOT; MYULAERT, 2011; KENNISH, 1990; TELESH; KHLEBOVICH, 2010).

Para o estuário do Rio Pirangi, os trabalhos sobre a biomassa e a composição de fitoplanctônica se restringem a apenas três trabalhos (CEARÁ, 2007; BARROSO *et al.*, 2016; SCHETTINI *et al.*, 2017), havendo ainda a necessidade de se ampliar o conhecimento sobre as espécies que ocorrem neste estuário e o padrão de variação espacial e temporal das mesmas. O estuário do rio Pirangi já foi analisado quanto a sua circulação e transporte no estuário e seu comportamento hidrológico e sedimentológico do mesmo estuário (SCHETTINI *et al.*, 2017; PINHEIRO, 2003). O Pirangi como estudo de caso pode servir de modelo para ampliar o conhecimento sobre o funcionamento de estuários hipersalinos tropicais.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Analisar a distribuição espacial e temporal da biomassa da comunidade fitoplanctônica e fatores ambientais em um estuário hipersalino tropical.

3.2 Objetivos Específicos

- Determinar a variação espacial e sazonal (período chuvoso/seco) na biomassa da comunidade fitoplanctônica ao longo do estuário do rio Piranji (Ceará, Brasil) durante um ano.
- Medir as variações espaço e temporal de variáveis físicas e químicas (profundidade, salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido, pH e nutrientes).
- Correlacionar biomassa total do fitoplâncton com as variáveis abióticas analisadas

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O litoral do Estado do Ceará apresenta uma linha de costa que se estende por 573 km, limitando-se a oeste com o estado do Piauí e a leste com o Rio Grande do Norte. Apresenta, segundo a classificação de KÖPPEN, um clima do tipo AW - Clima tropical chuvoso, sendo quente e úmido com chuvas concentradas, onde a maior pluviosidade ocorre entre os meses de janeiro a maio (IBAMA, 2005).

O estuário do rio Piranji está inserido na bacia metropolitana de Fortaleza e localiza-se a 5 km a oeste da foz do rio Jaguaribe, situado, em parte, nos municípios de Fortim e Beberibe, no litoral leste do Ceará, com uma extensão de 678,21 km². O estuário se situa na 4° 24'' S e 37° 59'' O, pertencendo à macrorregião de planejamento Litoral Leste/Jaguaribe (CEARÁ, 2007; CARVALHO, 2003).

O clima predominante na bacia do Rio Piranji é quente e estável, com elevadas temperaturas e reduzidas amplitudes, apresenta acentuada taxa de insolação, com alta evaporação e com um regime pluviométrico marcadamente irregular. Segundo a classificação de KÖPPEN, o clima da área em estudo apresenta a zonas climáticas Bsw'h' - clima quente e semiárido, onde as precipitações oscilam entre 700 e 1.000 mm (UECE, 2007). (FIGURA 3). A região apresenta duas estações bem definidas, a estação chuvosa (janeiro a junho) e a estação seca (julho a dezembro). O fluxo fluvial só penetra no interior do estuário quando há cheias, o que se deve a duas barragens localizadas no trecho inferior do rio. Destaca-se a existência de extensos bancos arenosos na desembocadura estuarina e canais de navegação com baixas profundidades (CEARÁ, 2007)

Figura 3 - Estuário do Rio Piranji- CE



Fonte: ÍTALO CÉSA

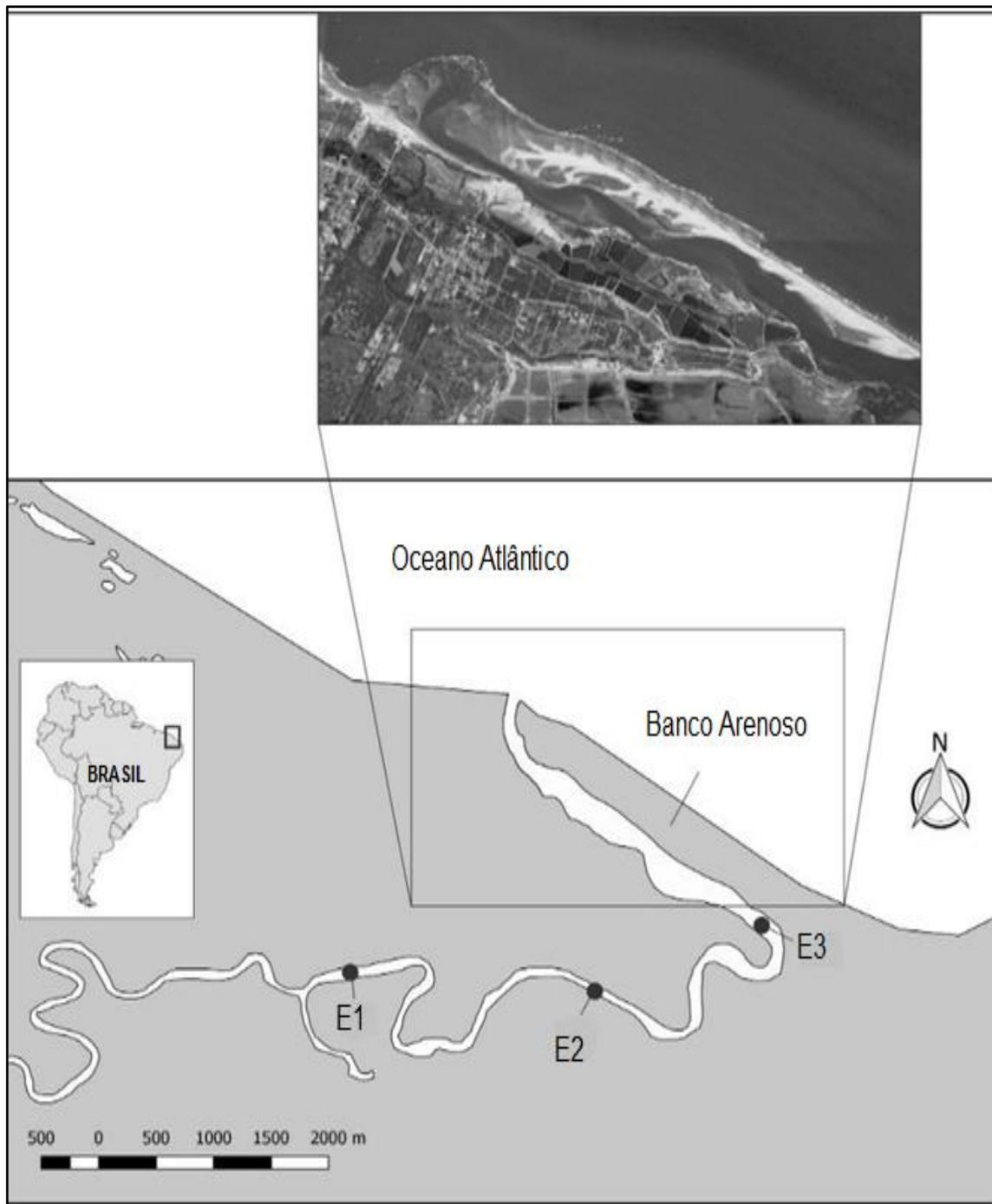
As principais atividades econômicas desenvolvidas na Bacia estuarina do Rio Piranji são a pesca, principalmente da lagosta e do camarão, agricultura de subsistência, com o cultivo de milho, feijão e mandioca. Existe ainda como atividade comercial, a indústria extrativista salineira, que outrora foi a principal atividade desenvolvida nessa área. Com a queda na produção do sal e impulsionada pelo elevado preço do camarão, a carcinicultura se desenvolveu às margens do Rio Piranji, ocasionando impactos sociais e ambientais (CARVALHO, 2003).

4.2 Metodologia

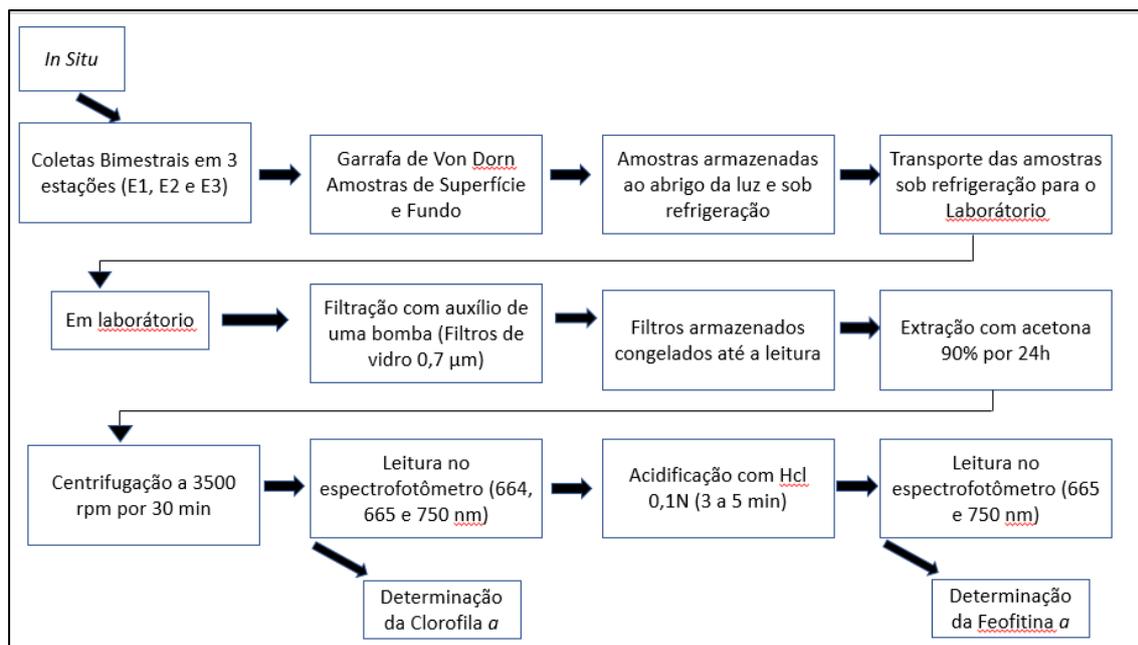
A fim de se analisar a variação sazonal e espacial na comunidade fitoplanctônica do Estuário do Rio Piranji, as amostras de água foram coletadas bimestralmente, em maré de sizígia, ao longo do ano de 2015 em três estações fixas dispostas desde uma região mais a montante (E1), até a E3 com maior influência marinha (FIGURA 4). As coletas das amostras tiveram início na estação 3 por volta de 8 horas da manhã e se enceraram próximo as 12 horas.

As amostras para as análises biológicas foram coletadas na superfície e fundo utilizando-se uma garrafa de Von Dorn. *In situ*, com o auxílio de uma sonda multiparamétrica (YSI 6660) foram aferidos os parâmetros, pH, temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e saturação de oxigênio. A transparência da água foi estimada pela profundidade do disco de Secchi e com esses dados foi possível calcular a profundidade da zona eufótica (Zeu) sendo essa zona 2,7 vezes a profundidade do disco (COLE, 1983). O processo de amostragem e determinação da clorofila *a* e feofitina *a* está representado no fluxograma da Figura 5.

Figura 4: Área de estudo e estações de coleta no estuário do Rio Piranji (CE).



Fonte: O autor

Figura 5 - Amostragem e determinação da Clorofila *a* e Feofitina *a*.

Após serem coletadas, as amostras foram devidamente armazenadas ao abrigo da luz e sob refrigeração e transportadas ao Laboratório de Plâncton da Universidade Federal do Ceará. Para a determinação da biomassa fitoplanctônica (clorofila *a*) alíquotas de água foram filtradas em filtros de fibra de vidro de porosidade 0,7 µm (47 mm de diâmetro, tipo GF - 3, Macherey- Nagel, Düren, Alemanha) em triplicata. (FIGURA 6). Após a filtração, os filtros foram mantidos congelados para subsequente determinação espectrofotométrica da clorofila-*a* e feopigmentos pela extração com acetona 90% (método 10200H; APHA, 1999).

Figura 6- Amostras refrigeradas. B) Filtração com auxílio de uma bomba. C) amostradas para congelamento.



Fonte: O autor

Após a extração com acetona 90%, as amostras, com volume conhecido, foram mantidas sobre refrigeração por um período de 24 horas. Posteriormente, foram centrifugadas a 3500 rpm por 30 minutos. Em seguida, foram realizadas as leituras com espectrofotômetro, em comprimentos de onda de 664, 665 e 750 nm. Para a determinação da feofitina *a*, as amostras foram acidificadas com ácido clorídrico 0,1 N, aguardou-se 4-5 minutos e novamente foi medida a absorbância nos comprimentos de 665 e 750 nm. (FIGURA 7)

Figura 7 A) Extração com acetona 90%. B) Centrifugação das amostras. C) Leitura no espectrofotômetro.



Fonte: O autor

Os dados de precipitação pluviométrica foram obtidos com a Funceme (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos). As análises dos nutrientes dissolvidos (N-amoniaco, nitrito, nitrato, ortofosfato e sílica) foram realizadas no Laboratório de Efluentes e Qualidade da Água (EQUAL) utilizando os métodos espectrofotométricos para águas marinhas e estuarinas indicados por Baumgarten, Rocha e Niencheski (1996). Maiores detalhes metodológicos sobre estas análises podem ser observados em Rozendo (2017).

4.3. Análise dos dados

A partir dos dados foram obtidas medidas centrais e de dispersão (média e desvio padrão) a partir do software Excel. Com estes dados foram feitos gráficos em barra para ver a variação espacial e temporal da biomassa e fatores ambientais.

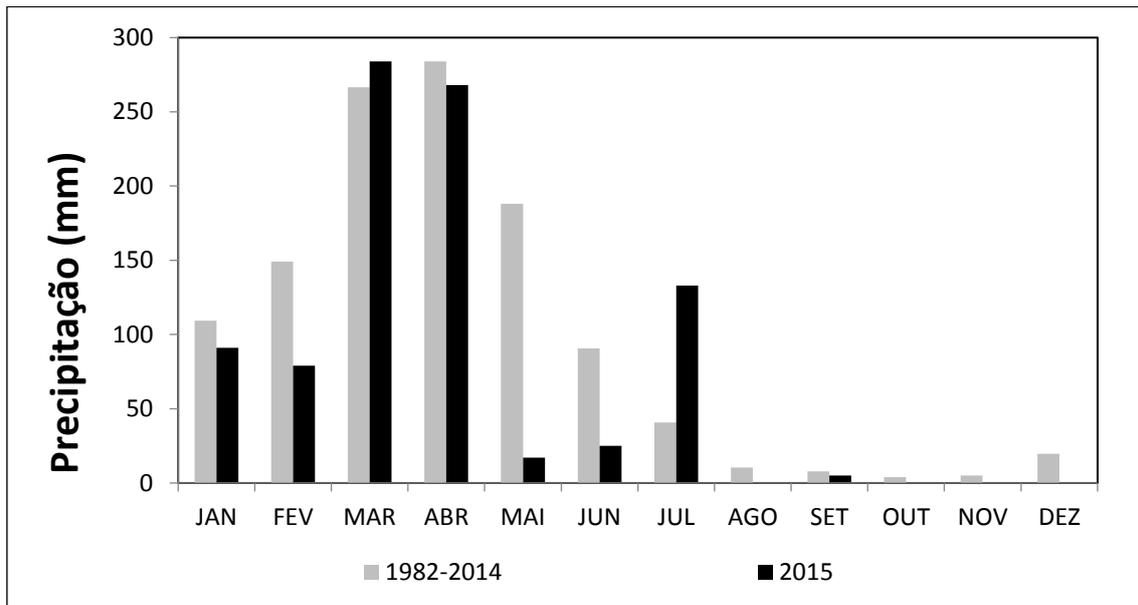
Foi realizado pré-teste (Kolmogorov-Smirnov) para avaliar se os dados seguiam distribuição normal. Como a hipótese de normalidade foi rejeitada, as diferenças significativas entre as amostras coletadas na superfície (S) e no fundo (F) do estuário foram avaliadas pelo teste de *Mann-Whitney U*, sendo consideradas com diferença significativas as amostras com valores onde $p < 0,05$. Essa análise foi realizada no *Statistica* versão 7.0.

A Análise dos Componentes Principais (ACP) foi utilizada com a finalidade de discriminar o padrão geral das variáveis. Nessa análise as variáveis Nitrito, Nitrato e Nitrogênio amoniacal foram agrupadas em uma única variável: NIT (Nitrogênio Inorgânico Total). Para esta análise utilizou-se o programa Past.

4.4 Dados pluviométricos

A precipitação variou de 284 mm, em março/2015 a zero em agosto, outubro, novembro e dezembro de 2015. Observou-se que, ao longo do ano estudado, os meses do primeiro semestre concentraram os maiores níveis de precipitação pluviométrica (84,7%), no entanto, esses níveis estiveram abaixo da média histórica registrada, com exceção do mês de março/2015 (284 mm). Em contrapartida, os meses de julho a dezembro do segundo semestre caracterizaram o período seco ou de estiagem, onde o somatório da precipitação registrada entre julho e dezembro foi de 23 mm, correspondendo a 15,3% do total de chuvas. O mês de julho apresentou precipitação acima da média histórica (FIGURA 8).

Figura 8 - Total de chuvas (JAN/2015 a DEZ/2015) e a média histórica mensal de chuvas (1982-2014).



Fonte: FUNCEME, 2015

5. RESULTADOS

5.1 Variáveis abióticas da água

Não foram encontradas diferenças significativas entre superfície e fundo para as variáveis analisadas ($p > 0,05$), com exceção dos teores de oxigênio ($p < 0,05$). Desta forma, para todas as variáveis são apresentados os valores médio para superfície e fundo, com exceção do oxigênio dissolvido e saturação do oxigênio.

5.1.1 Profundidade

A profundidade total ($Z_{\text{máx}}$) variou de 1,9 m na estação 1 em agosto/2015 a 5,8 m na estação 3 em abril/2015. A profundidade do Disco de Secchi variou de 0,3 m na estação 1 em abril/2015 a 1,5 m na estação 2 em junho/2015. A profundidade da Zona eufótica (Z_{eu}) foi maior na estação 3, com exceção na estação 2 em junho/2015 (4,1 m). A Z_{eu} variou de 0,8 m na estação 1, no mês de abril/2015 a 4,1 m na estação 2, em junho/2015. (TABELA 4)

Tabela 4 - Variação espacial e sazonal da profundidade do Disco de Secchi (m), Z_{eu} (m) no estuário do Rio Piranji (CE).

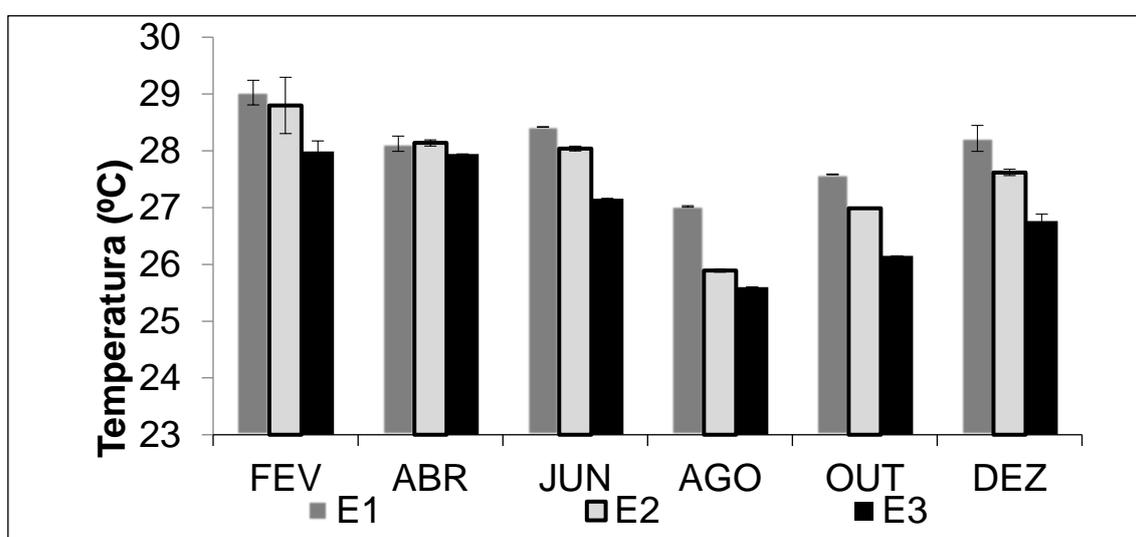
		Disco de Secchi (m)	Z_{eu} (m)	$Z_{\text{máx}}$ (m)
FEV	E1	0,4	1,1	2,9
	E2	0,7	1,9	2,2
	E3	0,9	2,4	5,0
ABR	E1	0,3	0,8	4,1
	E2	0,7	1,9	2,6
	E3	1,2	3,2	5,8
JUN	E1	1,2	3,1	2,6
	E2	1,5	4,1	2,6
	E3	1,2	3,1	4,1
AGO	E1	0,5	1,2	1,9
	E2	0,7	1,9	2,6
	E3	0,9	2,3	3,8
OUT	E1	0,4	1,1	2,3
	E2	0,6	1,6	4,3
	E3	0,7	1,9	3,9
DEZ	E1	0,4	1,1	2,8
	E2	0,7	1,9	2,2
	E3	1,1	3,0	3,3

Fonte: O autor

5.1.2 Temperatura

A temperatura da água registrou valor máximo de 29,0°C, no mês de fevereiro/2015, na estação 1. O valor mínimo foi de 25,6°C, encontrado na estação 3 durante o mês de agosto/2015. Quanto à distribuição espacial, observou-se um gradiente decrescente em direção a foz do estuário, com exceção do mês de abril/2015, em que a mesma temperatura (28,1°C) foi registrada nas estações E1 e E2. (FIGURA 9).

Figura 9 - Variação espacial e temporal média (superfície e fundo) de temperatura da água no estuário do Rio Piranji (CE).

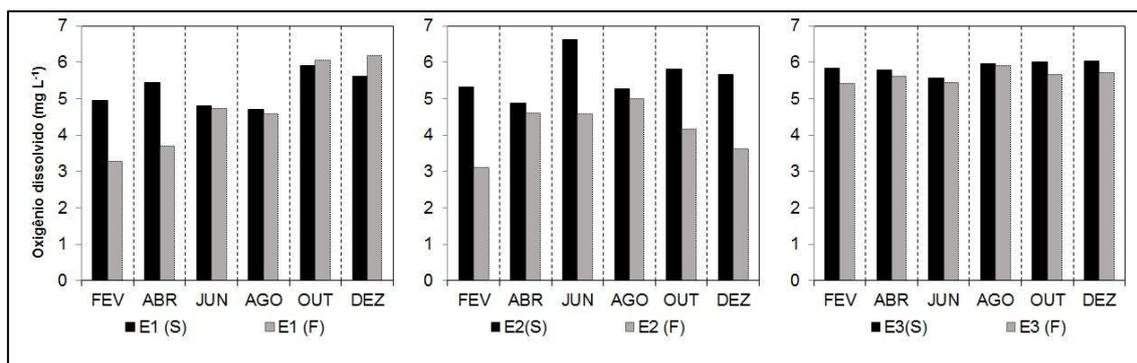


Fonte: O autor.

5.1.3 Oxigênio e Saturação do Oxigênio

Os teores de oxigênio dissolvido obtiveram o maior valor no mês de junho/2015 (6,6 mg.L⁻¹) na estação 2 superfície e o menor valor de 3,1 mg.L⁻¹ em fevereiro/2015, na estação 2 fundo. Observou-se uma variação vertical nas concentrações de oxigênio dissolvido, sendo que em todas as estações, os valores registrados foram maiores na superfície e menores no fundo, com exceção da estação 1, no mês de dezembro/2015 (6,18 mg.L⁻¹). (FIGURA 10).

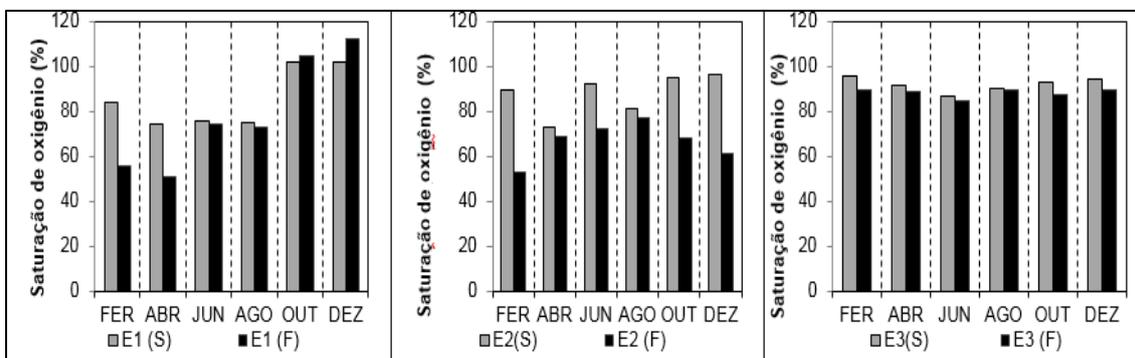
Figura 10 - Variação espacial e temporal do oxigênio dissolvido no estuário do Rio Piranji (CE).



Fonte: o autor

Em relação a saturação de oxigênio, para o período chuvoso (fev/abr/jun/2015) o valor mínimo foi encontrado na estação 1 fundo no mês de abril/2015 (50,6 %), e o valor máximo foi de 95,7 % registrado na estação 3 superfícies em fevereiro/2015 (FIGURA 11). Para o período de estiagem (ago/out/dez/2015), o valor mínimo foi de 61,5 % na estação 2 fundo em dezembro/2015 e o valor máximo de 112,7 % na estação 1 fundo em dezembro/2015.

Figura 11 - Variação espacial e temporal da saturação de oxigênio no estuário do Rio Piranji (CE).



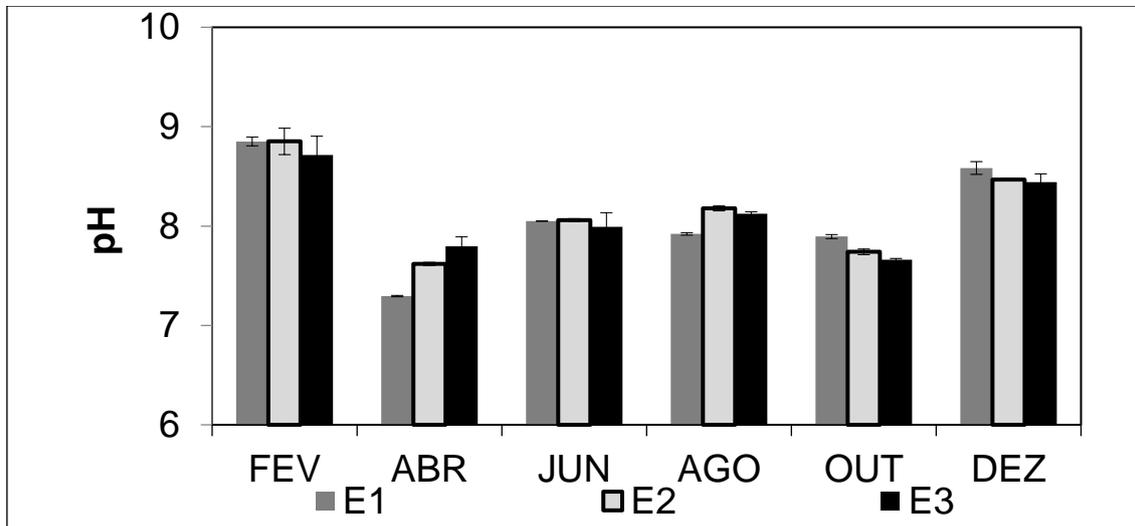
Fonte: o autor

5.1.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O valor máximo encontrado foi em fevereiro/2015 nas estações 1 e 2 (8,9). O valor mínimo foi registrado de 7,3, na estação 1 em abril/2015. Na estação 1, os valores variaram de 7,3, em abril/2015 a 8,9 em fevereiro/2015. Na estação 2, variou de 7,6 em

abril/2015 a 8,9 em fevereiro/2015. Na estação 3, a variação foi de 7,7, em outubro/2015 a 8,7 em fevereiro/2015. (FIGURA12).

Figura 22 - Variação sazonal e temporal média de (superfície e fundo) pH no estuário do Rio Piranji (CE).

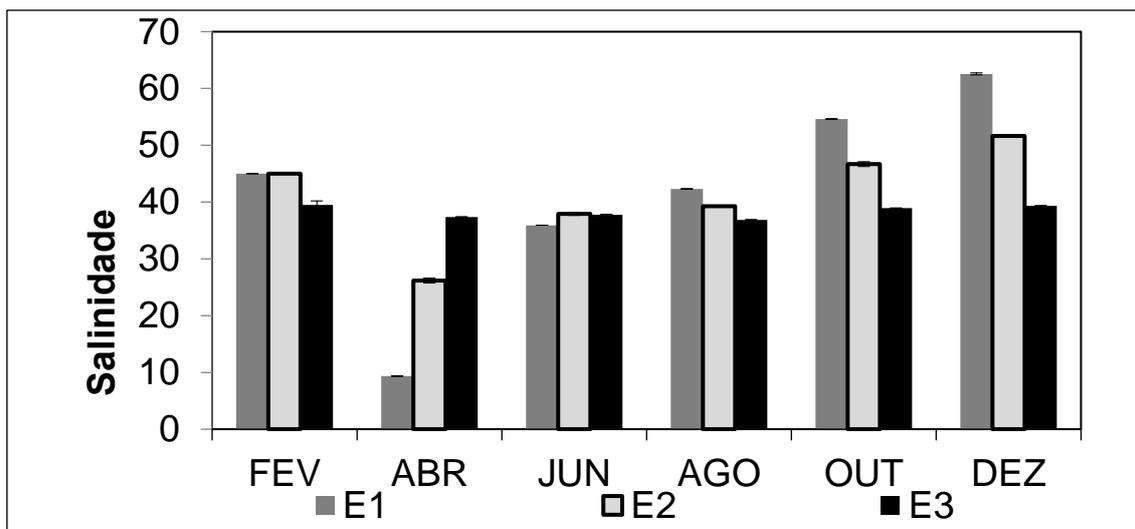


Fonte: O autor.

5.1.5 Salinidade

A salinidade teve valor mínimo de 9,4, em abril/2015 e alcançou valor máximo de 62,6, em dezembro/2015 ambos na estação 1 (FIGURA 13). Com a entrada de água doce no período chuvoso (fevereiro e junho/2015), o estuário apresentou-se positivo ($E1 < E2 < E3$). Já nos meses com precipitação baixa ou nenhuma precipitação (fevereiro, agosto, outubro e dezembro/2015), ou seja, sem entrada de água doce, o estuário caracterizou-se como inverso e apresentou a condição de hipersalinidade.

Figura 13 - Variação espacial e sazonal média (superfície e fundo) da salinidade no estuário do Rio Piranji (CE).



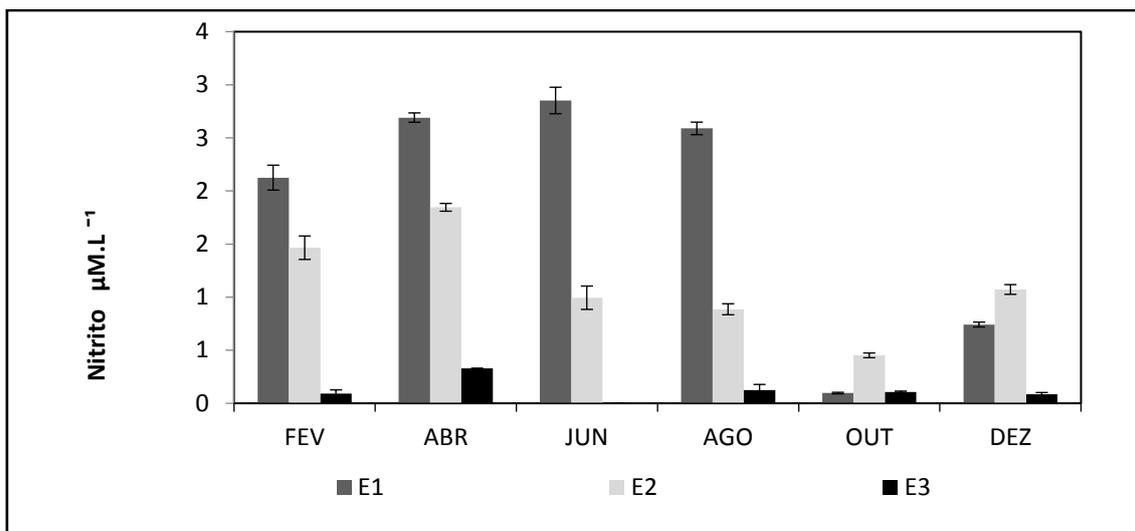
Fonte: O autor.

5.3 Nutrientes

5.3.1 Nitrito

As concentrações de nitrito variaram de valores indetectáveis na estação 3 no mês de junho/2015 a $2,85 \pm 0,1 \mu\text{mol. L}^{-1}$ em agosto/2015 também na estação 1. Observou-se um padrão decrescente a montante, com exceções nos meses de outubro/2015 e dezembro/2015 que registraram valores maiores na estação 2, $0,5 \pm 0,0 \mu\text{mol. L}^{-1}$ e $1,1 \pm 0,0 \mu\text{mol. L}^{-1}$, respectivamente. (FIGURA 14).

Figura 34 - Concentrações médias (superfície e fundo) de nitrito com desvio padrão nas estações do estuário do Rio Piranji (CE).

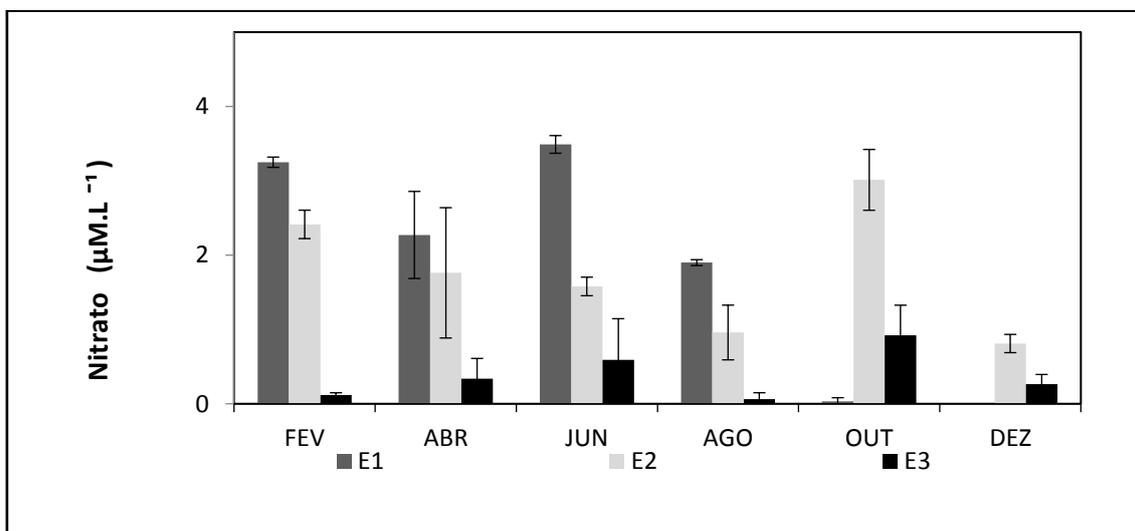


Fonte: O autor

5.3.2 Nitrito

Com exceção aos meses de outubro/2015 ($3,0 \pm 0,4 \mu\text{mol. L}^{-1}$) e dezembro/2015 ($0,8 \pm 0,1 \mu\text{mol. L}^{-1}$), as concentrações de nitrito apresentaram um padrão decrescente em direção a foz do estuário. O máximo valor encontrado foi de $3,5 \pm 0,1 \mu\text{mol. L}^{-1}$, na estação 1 em junho/2015 (FIGURA 15). Os meses de outubro/2015 e dezembro/2015 não apresentaram concentrações desse nutriente na estação 1.

Figura 45 - Concentrações médias (superfície e fundo) de nitrato com desvio padrão nas três estações do estuário do Rio Piranji (CE).

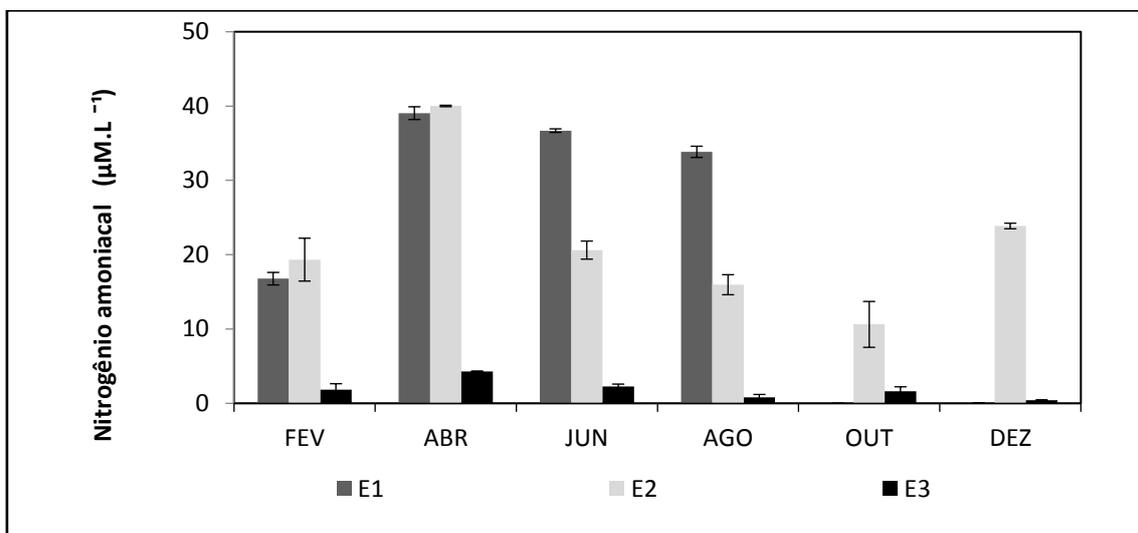


Fonte: O autor

5.3.3 Nitrogênio Amoniacal

Os valores de nitrogênio amoniacal variaram de $0,8 \pm 0,4 \mu\text{mol. L}^{-1}$ na estação 3 em agosto/2015 e dezembro/2015 a $40,0 \pm 0,1 \mu\text{mol. L}^{-1}$ na estação 2 em abril/2015 (FIGURA 16). Os meses de outubro e dezembro não apresentaram concentração de nitrogênio. Os valores foram maiores nos meses da estação chuvosa (fevereiro, abril e junho).

Figura 16 - Concentrações médias (superfície e fundo) de nitrogênio amoniacal com desvio padrão nas estações do estuário do Rio Piranji (CE).

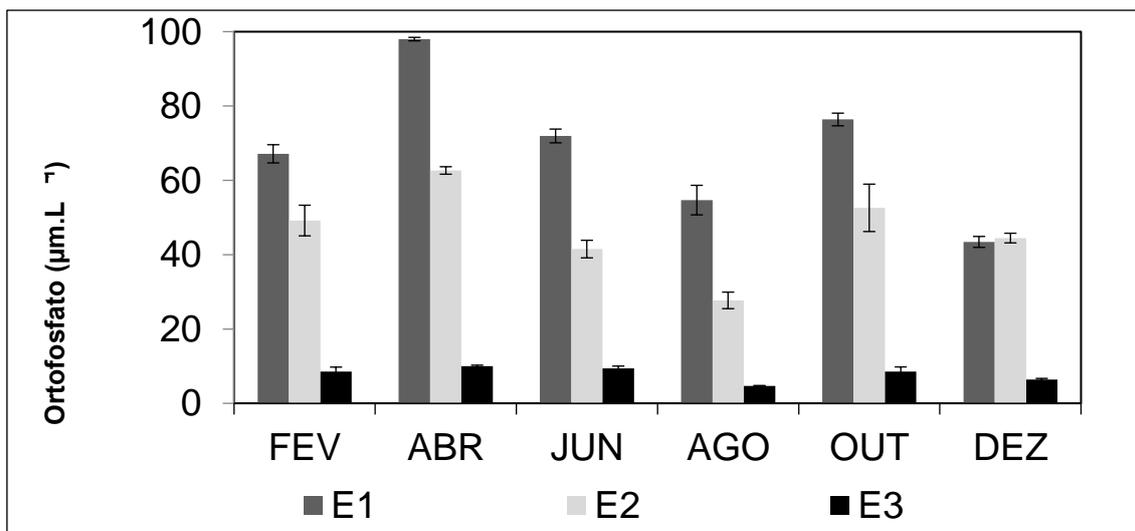


Fonte: O autor

5.3.4 Ortofosfato

Os valores de ortofosfato no estuário do rio Piranji em 2015, variaram de $0,1 \pm 0,1 \mu\text{mol. L}^{-1}$ em dezembro na estação 3, a $3,2 \pm 0,0 \mu\text{mol. L}^{-1}$; $3,2 \pm 0,1 \mu\text{mol. L}^{-1}$ em agosto na estação 1 e junho na estação 3 respectivamente. (FIGURA 17).

Figura 17 - Concentrações médias (superfície e fundo) de ortofosfato com desvio padrão nas estações do estuário do Rio Piranji (CE).

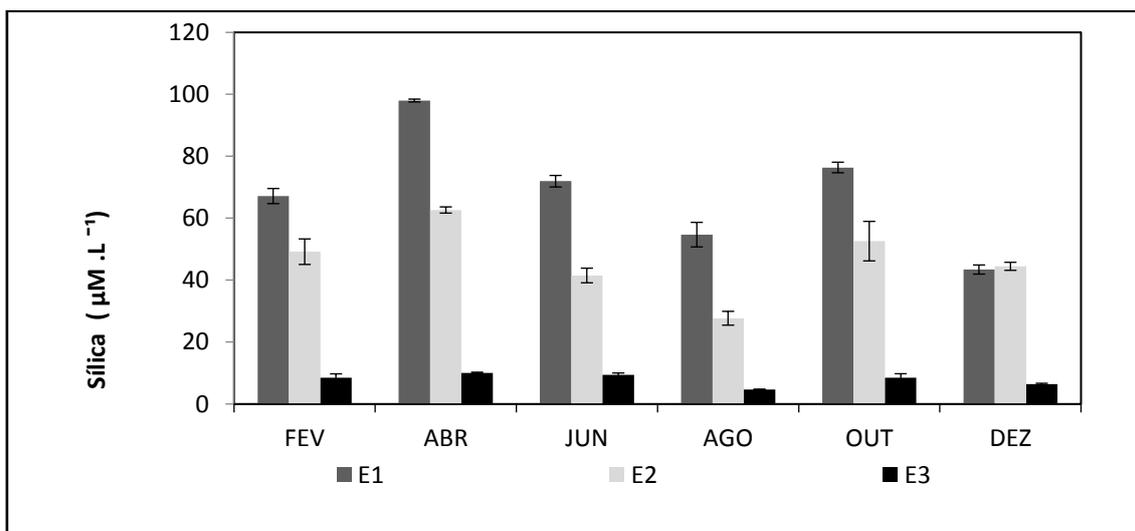


Fonte: O autor

5.3.5 Sílica

A sílica apresentou um gradiente decrescente para jusante, com exceção em dezembro/2015. O valor máximo registrado foi de $98,0 \pm 0,5 \mu\text{mol.L}^{-1}$ em abril/2015, na estação 1 e o mínimo foi de $4,7 \pm 0,3 \mu\text{mol. L}^{-1}$ na estação 3 em junho/2015. (FIGURA 18).

Figura 18 - Concentrações médias (superfície e fundo) de sílica com desvio padrão nas estações do estuário do Rio Piranji (CE).

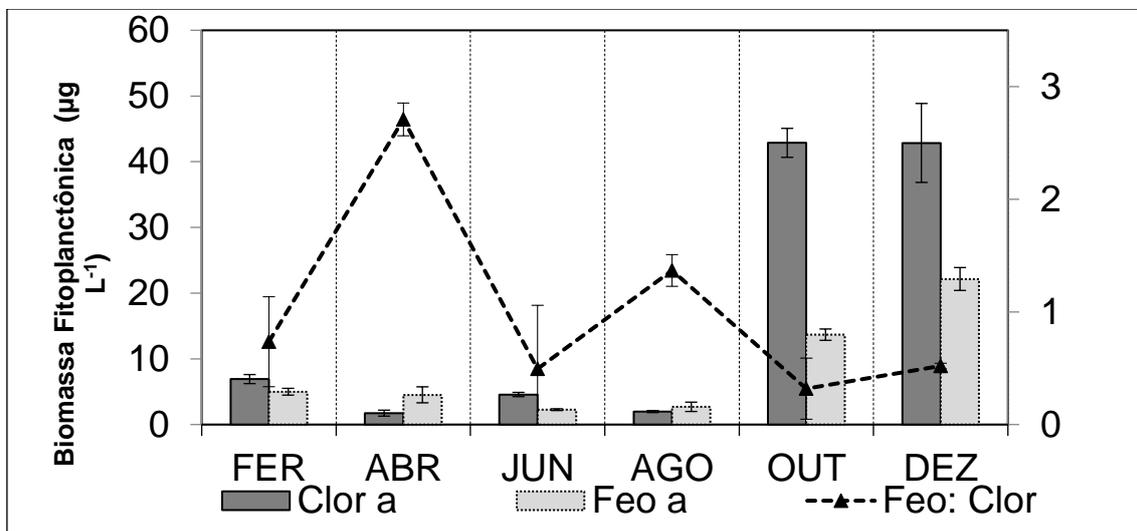


Fonte: O autor

5.4 Clorofila *a* e Feofitina *a*

Os valores de clorofila *a* na estação 1 variaram de $1,7 \pm 0,5 \mu\text{g L}^{-1}$ no mês de abril/2015 a $42,9 \pm 2,2 \mu\text{g L}^{-1}$ e $42,9 \pm 6,0 \mu\text{g L}^{-1}$ nos meses de outubro/2015 e dezembro/2015, respectivamente. A feofitina *a* variou de $2,3 \pm 0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ em junho/2015 a $22,2 \pm 1,7 \mu\text{g L}^{-1}$ em dezembro/2015. A razão feofitina *a*/clorofila *a* registrou valor mínimo de $0,3 \pm 0,3 \mu\text{g L}^{-1}$ em outubro/2015 e valor máximo de $2,7 \pm 0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ em abril/2015. (FIGURA 19).

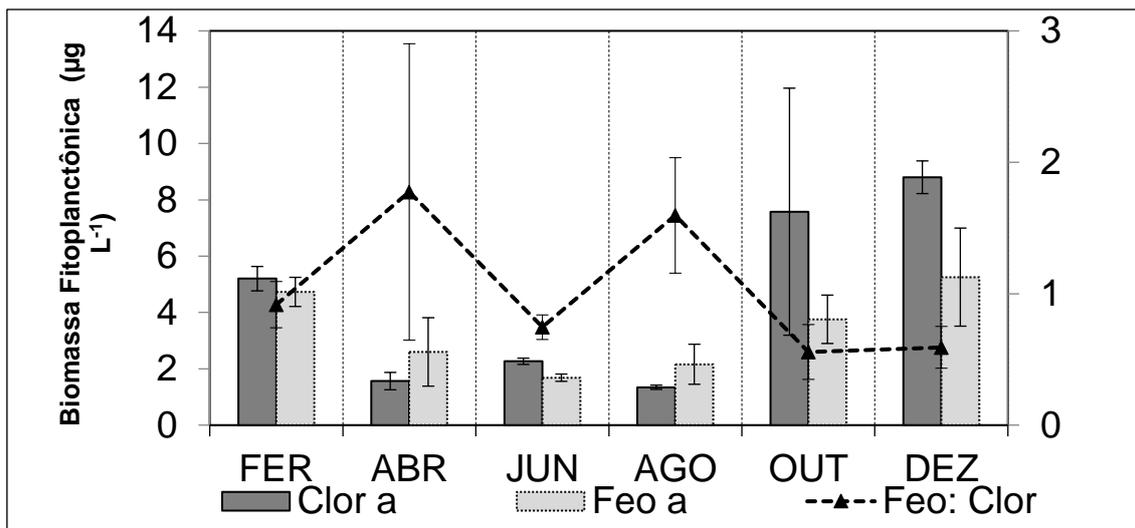
Figura 19 - Concentrações médias (superfície e fundo) de Clorofila *a* e feofitina *a* com desvio padrão na estação 1 do estuário do Rio Piranji (CE).



Fonte: O autor

Em relação a estação 2, as concentrações de clorofila *a* variaram de $1,3 \pm 0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ no mês de agosto/2015 a $8,8 \pm 0,6 \mu\text{g L}^{-1}$ em dezembro/2015. (FIGURA 20). A feofitina *a* apresentou valor mínimo de $1,7 \pm 0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ em junho/2015 e valor máximo de $5,3 \pm 1,7 \mu\text{g L}^{-1}$ em dezembro/2015. A razão feofitina *a*/clorofila *a* variou de $0,56 \pm 0,2 \mu\text{g L}^{-1}$ em outubro/2015 a $1,55 \pm \mu\text{g L}^{-1}$ em abril/2015.

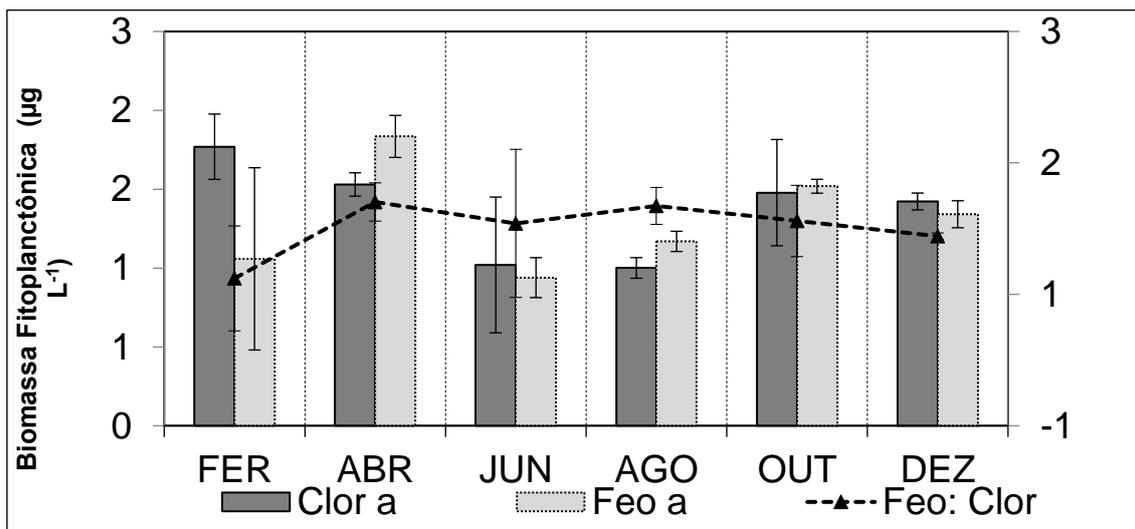
Figura 20 - Concentrações médias (superfície e fundo) de Clorofila *a* e feofitina *a* com desvio padrão na estação 2 do estuário do Rio Piranji (CE).



Fonte: O autor

Na estação 3, as concentrações de clorofila *a* registraram valor mínimo de $1,0 \pm 0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ em junho/2015 e agosto/2015 e valor máximo de $1,8 \pm 0,2 \mu\text{g L}^{-1}$ em fevereiro/2015 (FIGURA 21). As concentrações de feofitina *a* variaram de $1,1 \pm 0,6 \mu\text{g L}^{-1}$ em fevereiro/2015 a $1,8 \pm 0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ em abril/2015. A razão feofitina *a*/clorofila *a* variou de $0,62 \pm 0,4 \mu\text{g L}^{-1}$ em fevereiro/2015 a $1,20 \pm 0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ em abril/2015.

Figura 21 - Concentrações médias (superfície e fundo) de Clorofila *a* e feofitina *a* com desvio padrão na estação 3 do estuário do Rio Pirajá (CE).

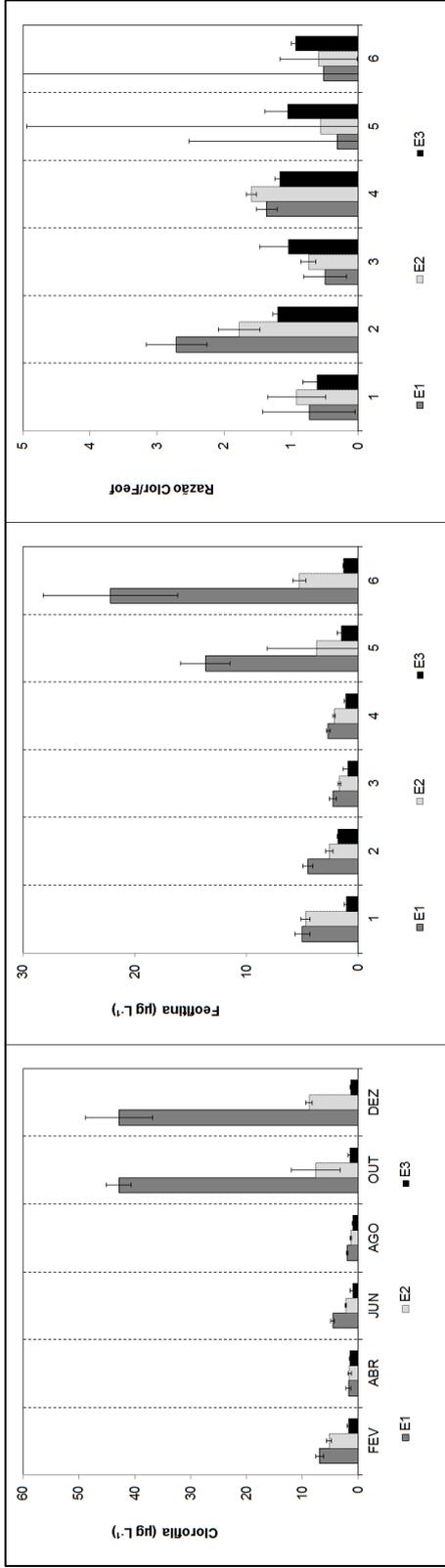


Fonte: O autor

Os valores de clorofila *a* variaram de $1,0 \pm 0,4 \mu\text{g L}^{-1}$ na estação 3 em junho/2015 e de $1,0 \pm 0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ agosto/2015 a $42,9 \pm 2,2 \mu\text{g L}^{-1}$ na estação 1 e $42,9 \pm 6,0 \mu\text{g L}^{-1}$ na estação 1 em dezembro/2015. Verifica-se uma nítida variação sazonal, estando a biomassa fitoplanctônica mais concentrada no período seco. Observa-se um padrão decrescente de distribuição espacial da estação 1 para a estação 3 em todos os meses amostrados (FIGURA 22). Em relação a feofitina *a*, o mesmo padrão pode ser observado. Os valores de feofitina *a* variaram de $0,9 \pm 0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ em junho/2015 na estação 3 a $22,2 \pm 1,4 \mu\text{g L}^{-1}$ em dezembro/2015 na estação 1. A razão feofitina *a* /clorofila *a* foi maior na estação 1 ($2,7 \pm 0,8 \mu\text{g L}^{-1}$) em abril/2015, e menor na estação 1 em outubro/2015 ($0,31 \pm 0,0 \mu\text{g L}^{-1}$).

As concentrações de biomassa algal caracterizaram o ambiente variando de mesotrófico a hipereutrófico. As estações mais afastadas da foz estuarina estiveram mesotróficas no período chuvoso e hipereutróficas no período seco, já a estação próxima a foz foi mesotrófica em todo o ano estudado (SMITH *et al.*, 1999).

Figura 52 - Variação espacial e temporal da clorofila *a* e feofitina *a* e razão clorofila *a* / feofitina *a* no estuário do rio Piranji (CE).



Fonte: O autor

5.5 Análise dos Componentes Principais (ACP)

De acordo com a análise dos componentes principais (ACP), os dois primeiros componentes explicaram 63,18% da variação dos dados: o componente 1 explicou 36,902% e o componente 2 explicou 26,278%. (TABELA 5).

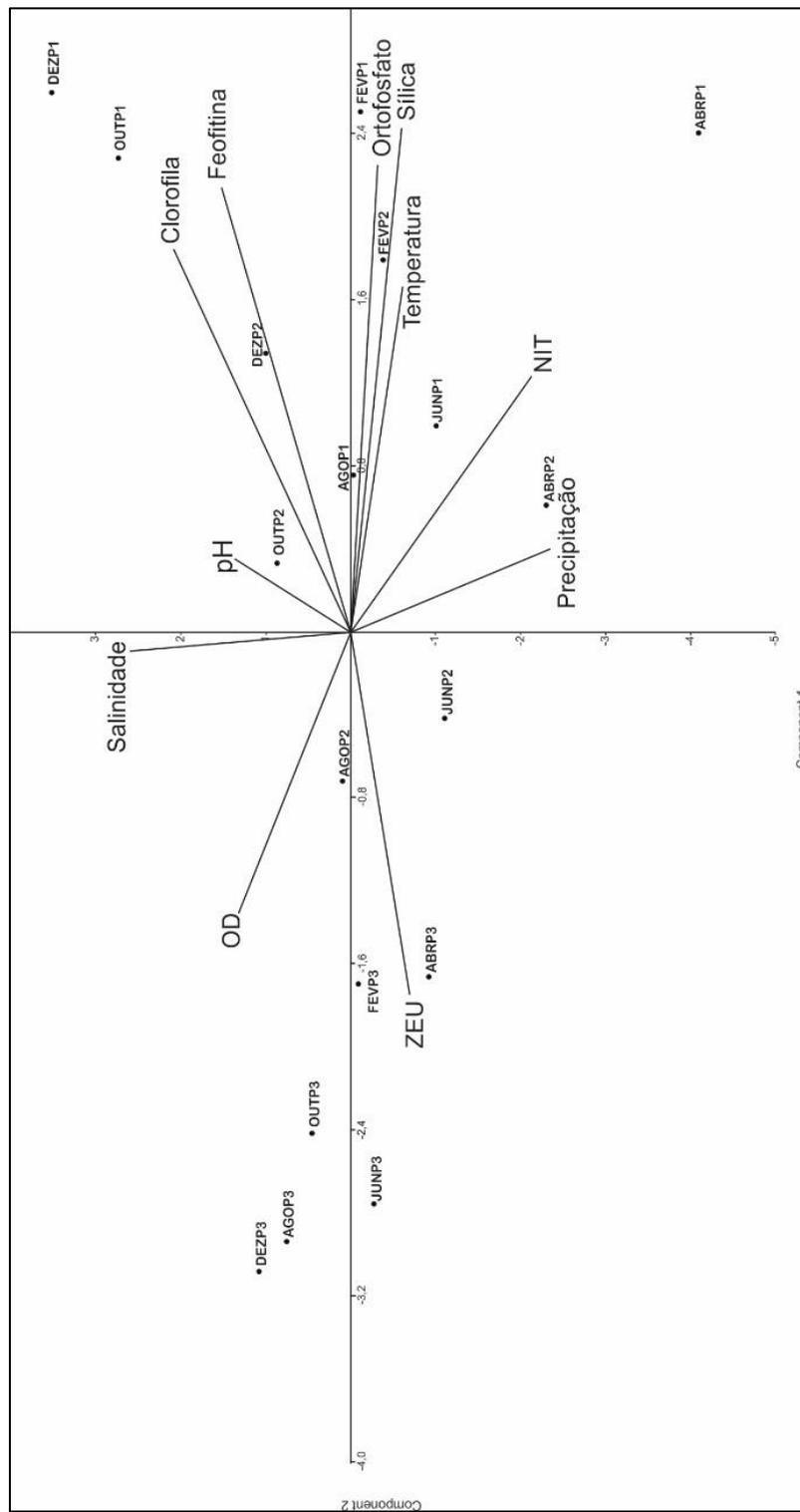
Analisando a distribuição das amostras no plano fatorial definido pelos componentes 1 e 2, (FIGURA 23) observa-se que o eixo 1 pode ser interpretado como um componente relacionado com a variação espacial das amostras. Verifica-se que as amostras das estações 1 e 2 estão do lado positivo do eixo e essas estações foram mais influenciadas pelas concentrações mais elevadas de clorofila *a*, feofitina *a*, ortofosfato (exceto em junho/2015), sílica e temperaturas mais elevadas, mostrando um padrão crescente dessas variáveis em relação a foz do estuário. Com o eixo 1 foram correlacionadas negativamente as variáveis Zeu e OD onde está posicionada a E3.

O eixo 2 expressa a variação temporal das amostras, do lado negativo, observa-se as amostras do período chuvoso e do lado positivo concentram-se as amostras do período seco. No período seco, as duas variáveis mais positivamente correlacionadas foram a salinidade e a clorofila *a* e estas inversamente com a precipitação, já que no período chuvoso, as concentrações de clorofila *a* foram baixas. Outra variável que foi correlacionada negativamente foi o NIT, o que poderia ser explicado pela assimilação desse nutriente por parte do fitoplâncton.

Tabela 5 - Análise dos Componentes Principais (ACP) da clorofila *a* e variáveis ambientais no estuário do rio Piranji-CE.

VARIÁVEIS	COMPONENTE 1 (36,902%)	COMPONENTE 2 (26,278%)
Precipitação	0,1499	-0,7531
Zeu	-0,6591	-0,2235
Temperatura	0,6289	-0,1978
Salinidade	-0,03765	0,8244
pH	0,1315	0,434
OD	-0,5124	0,4193
NIT	0,4642	-0,6802
Ortofosfato	0,8506	-0,09844
Sílica	0,9171	-0,1964
Clorofila	0,6986	0,6678
Feofitina	0,8108	0,4833

Figura 63 - Diagrama de ordenação obtida por análise de componentes principais realizada a partir de dados das variáveis abióticas e bióticas do estuário do rio Piranji - CE nos períodos seco e chuvoso



Fonte: o autor

Os resultados demonstraram uma marcada sazonalidade na precipitação entre o período seco e chuvoso, bem como uma distribuição espacial ao longo do estuário das variáveis ambientais. As descargas do rio durante o período chuvoso reduziram drasticamente a biomassa do fitoplâncton provavelmente pela redução do tempo de residência da água que limita o acúmulo de biomassa (BADYLACK *et al.* 2015).

O ano de 2015 foi marcado pela ocorrência do fenômeno “*El Niño*” que agravou ainda mais a seca prolongada que atingia a região Nordeste do Brasil desde o ano de 2012 (MARENGO & BERNASCONI, 2014). A pluviosidade no ano de 2015 esteve abaixo da média histórica para a região, verificou-se que os índices pluviométricos do ano de estudo estiveram cerca de 23% abaixo do padrão. Assim, os resultados fornecem um panorama em um ano de forte déficit hídrico; fenômeno que deve se intensificar com as mudanças climáticas (MARENGO & BERNASCONI, 2014).

Apesar da precipitação pluviométrica ter estado abaixo dos padrões normais, provocou modificações nas variáveis ambientais, condicionando menor salinidade e biomassa fitoplanctônica e maiores concentrações de nutrientes nitrogenados durante o período chuvoso, como pôde ser observado na ACP.

Como mostrado na ACP, a temperatura e os nutrientes ortofosfato e sílica mostraram correlação positiva com a clorofila *a* e foram correlacionados negativamente com a zona eufótica. Essa correlação negativa entre Clorofila *a* e Zeu sugere que o material em suspensão tem uma maior procedência biológica (GREGO *et al.*, 2004).

Os altos valores de temperatura no estuário do rio Piranji (>25,5°C) com pouca variação sazonal é comum em estuários tropicais, onde essa variável é sempre elevada e constante possuindo influência menor sobre os organismos fitoplanctônicos, não chegando a ser um fator limitante (PASSAVANTE, 1979; BASTOS *et al.*, 2005).

Os teores de oxigênio dissolvido em estuários são controlados por processos climáticos, hidrodinâmicos e bioquímicos (PINHEIRO, 2003). As concentrações de OD e as taxas saturação de oxigênio são oriundas da atividade fotossintética do fitoplâncton, das trocas entre as águas marinhas e fluviais, da temperatura e da salinidade (LEÃO, 2007; BASTOS *et al.*, 2005).

De maneira geral, as concentrações de OD mostraram um gradiente crescente de áreas mais internas em direção a foz. Segundo Santos *et al* (2009) esse padrão crescente

nas estações mais próximas ao mar, se dá possivelmente devido ao turbilhamento provocado pela entrada de água marinha no estuário (SANTOS *et al.*, 2009).

Em relação a variação na coluna d'água, as concentrações de OD foram maiores na superfície, exceto na estação 1 em outubro/2015 e dezembro/2015. As taxas de saturação de OD indicam que o estuário não se encontrava poluído, variando de zona supersaturada (>100%) a zona de baixa-saturação (50-100%) (MACEDO; COSTA, 1978).

O potencial Hidrogeniônico (pH) manteve-se alcalino nos meses amostrados, em todas as estações, o que mostra a influência das águas marinhas. No mês de abril/2015 os valores foram menores em todas as três estações, isso deve-se a maior ocorrência de precipitação. O mesmo foi também registrado em outros estuários do nordeste brasileiro, como Branco *et al.* (2002) no estuário de Barra das Jangadas, Honorato da Silva *et al.* (2004) no estuário do rio Formoso e Grego *et al.* (2004) no estuário do rio Timbó.

A salinidade variou de mesohalina a hiperhalina (Sistema de Veneza 1959), apresentando um nítido gradiente horizontal. Nos meses de abril e junho/2015, o estuário esteve positivo, com a salinidade decrescendo para as estações mais internas ($E1 < E2 < E3$), resultado dos maiores níveis de precipitação pluviométrica no estuário, sendo que as estações mais internas recebem maior influência das descargas fluviais.

No início do período chuvoso (fevereiro/2015) e no período seco (agosto, outubro e dezembro/2015), o estuário esteve inverso e hipersalino, o que se deve às altas taxas de evaporação e as entradas insignificantes de água doce durante os meses do período seco (POTTER *et al.*, 2010). Essas mesmas condições resultaram em hipersalinidade na zona húmida de Coorong na Austrália (LETERME *et al.*, 2015) e na Grande Barreira de Corais na Austrália (ANDUTTA *et al.*, 2011). A presença de um banco arenoso na foz do estuário rio Piranji dificulta a entrada da maré e a circulação estuarina o que contribui para o aumento da salinidade (WOOLDRIDGE *et al.*, 2016)

Além das condições climáticas, o estuário estudado sofre ainda com os impactos antropogênicos que resultaram em mudanças morfológicas oriundas do desmatamento do manguezal que deu espaço para as lagoas de extração de sal e posteriormente foram substituídas por fazendas de camarão (MESQUITA *et al.*, 2012; SCHETTINI *et al.*, 2017). Assim, sem a cobertura vegetal natural, as perdas de água para evaporação aumentaram (SCHETTINI *et al.*, 2017). Além disso, há ainda diversos barramentos do

rio para o armazenamento de água o que causou uma redução na descarga fluvial (MESQUITA *et al.*, 2012).

A biomassa fitoplanctônica apresentou variação temporal, com concentrações mais elevadas no período seco. Neste período, o tempo de residência da água é provavelmente maior e pode desencadear florações de algas (WINDER; CLOERN, 2010), tal como ocorreu no presente estudo, onde a clorofila *a* apresentou picos durante os meses de outubro e dezembro de 2015. Durante o período chuvoso, ocorreu um maior aporte de água doce para o sistema estuarino e o que pode reduzir o tempo de residência da água. Essa condição resultou na diluição e arrasto do fitoplanctônica para fora do estuário. Assim, mesmo com maiores concentrações de nutrientes nesse período, uma maior assimilação destes só foi possível no período seco. Este fato foi evidenciado pela redução das formas de nitrogênio na estação seca, indicando que o NIT foi o principal nutriente assimilado pelo fitoplanctôn, coincidindo com os picos de biomassa.

Os gradientes de salinidade impulsionaram a biomassa fitoplanctônica no estuário do rio Piranji, sendo que a biomassa algal apresentou maiores concentrações sob a condição hipersalina. Na área húmida de Coorong, a biomassa do fitoplâncton também aumentou ao longo do gradiente de salinidade, entretanto, em salinidades maiores que 107, os níveis de clorofila *a* começaram a diminuir (LETERME *et al.*, 2015)

As concentrações de nutrientes foram maiores na estação 1 (mais interna) que sofre maior influência da descarga fluvial o mesmo foi observado no estuário Barra das Jangadas - PE e no riacho subtropical Ten Miles Creek na Flórida (NORIEGA *et al.*, 2005; BADYLACK *et al.* 2015). A biomassa fitoplanctônica apresentou mesmo padrão crescente em direção ao continente, o que pode ser atribuído aos maiores teores de nutrientes nas estações mais internas (SANTOS *et al.*, 2009).

No presente estudo as condições climáticas atípicas, ou seja, a ocorrência de uma seca prolongada e as pressões antrópicas sobre o estuário do rio Piranji alteraram o funcionamento desse sistema. As previsões para a região Nordeste do Brasil, mostram o aumento da temperatura, redução nas chuvas e episódios de seca prolongada até o final do século XXI (MARENGO *et al.*, 2016; MORENGO; BERNASCONI, 2014). A combinação desses fatores resultará em um aumento da evapotranspiração, aumento da salinidade e diminuição do lençol freático (WOOLDRIDGE *et al.*, 2016). Essas condições afetarão o estuário do rio Piranji tornando-o mais secos e mais salinos

afetando o funcionamento desses ambientes e sua biota associada. As mudanças climáticas poderão impactar mudanças na dinâmica sazonal, composição de espécies e estrutura da comunidade fitoplanctônica alterando o funcionamento dos ecossistemas (WINDER; SOMMER, 2012).

7. CONCLUSÕES

A precipitação pluviométrica esteve abaixo do padrão de chuvas para a região, ainda assim, provocou alterações nas variáveis ambientais como salinidade e nutrientes e reduziu drasticamente a biomassa fitoplanctônica no estuário do rio Piranji. As concentrações de clorofila *a* apresentaram variação espacial ao longo das três estações, caracterizando o ambiente de mesotrófico a hipereutrófico. A variação temporal da biomassa algal foi influenciada diretamente pela salinidade, apresentando picos nos meses do período seco. A salinidade variou de mesohalina a hiperhalina. Com base nessa variável, pôde-se classificar o estuário como positivo na estação chuvosa e de baixo-influxo e hipersalino na estação seca.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo contribuiu para o entendimento do funcionamento de um estuário tropical hipersalino durante o período de déficit hídrico, avaliando algumas características ambientais e a comunidade fitoplanctônica. Ressalta-se esse estudo foi realizado sob condições atípicas para a região, sendo importante a continuação dessa pesquisa em um período com condições climáticas normais afim de se comparar e monitorar o efeito das condições adversas que tendem a se intensificar com as mudanças climáticas.

È importante ressaltar que além das pressões antropogênicas, como a carcinicultura e os barramentos para abastecimento humano, o estuário do rio Piranji sofreu com o impacto da seca prolongada (2012-2015) e com a formação de um banco arenoso em sua foz, fatores esses que contribuíram para as taxas elevadas de salinidade encontradas nas porções mais internas do estuário.

Entender os mecanismos que definem a variabilidade temporal e espacial da comunidade fitoplanctônica é essencial para prever a extensão dos impactos no funcionamento dos corpos aquáticos face às mudanças climáticas globais. Monitorar os efeitos dessas mudanças nas características físicas e biológicas em ambientes estuarinos é imprescindível para a preservação dos ecossistemas e suas funções ecológicas e econômicas.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, H.D.; DUNTON, K.H., **Freshwater inundation effects on emergent vegetation of a hypersaline salt marsh**. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 25, p. 1426–1435, 2002.
- ANDERSON, D. M.; GLIBERT, P. M.; BURKHOLDER, J. M. **Harmful algal blooms and eutrophication: nutrient sources, composition, and consequences**. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v.25, p. 704-726, 2002.
- ANDUTTA, F.P.; RIDD, P.V.; WOLANSKI, E., **Dynamics of hypersaline coastal waters in the Great Barrier Reef**. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* v. 94, p. 299–305, 2011.
- APHA, American Public Health Association. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. Washington: American Public Health Association, AWWA, 1999.
- AZEVEDO, A.C.G.; FEITOSA, F.A.N.; KOENING, M.L. **Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais no Golfão Maranhense, Brasil**. *Acta. Bot. Bras.* v. 22, p. 870-877, 2008.
- BADYLAK, S.; PHILIPS, E.; DIX, N.; HART, J.; SRIFA, A.; HAUNERT, D.; HE, Z.; LOCKWOOD, J.; STOFELLA, P.; SUN, D.; YANG, Y. **Phytoplankton dynamics in a subtropical tidal creek: influences of rainfall and water residence time on composition and biomass**. *Marine and Freshwater Research*,v. 64, p. 466-482, 2015.
- BAUMGATEN, M.G.Z.; ROCHA, J.M.B.; NIENCHESKI, L.F.H. **Manual de análises em oceanografia química**. Rio Grande: Eng. Furg. 1996. 132p.
- BARROSO, H.S. **Estrutura das assembleias de bacterioplâncton, arqueoplâncton e fitoplâncton em estuários sob estresses antropogênicos (NE – Brasil)**. 2014. 61 p. Tese (Doutorado em Ciências marinhas tropicais) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- BARROSO, H.S.; BECKER, H. MELO, V.M.M. **Influence of river discharge on phytoplankton structure and nutrients concentrations in four tropical semiarid estuaries**. *Brazilian Journal of Oceanography*,v. 64(1), p. 37-48, 2016.
- BASTOS, R.F.; FEITOSA, F.A.N.; MUNIZ, K. **Variabilidade espaço-temporal da biomassa fitoplanctônica e hidrologia no estuário do rio Uma (PERNAMBUCO-BRASIL)**. *Tropical Oceanography*, v.33, p. 1-18. 2005.
- BORJA, A.; BASSET, A.; BRICKER, S.; DAUVIN, J-C. ELLIOT, M. **Classifying ecological quality and integrity of estuaries**. *In: WOLANSKI E.; MCLUSKY D.S. (Eds.), Treatise on Estuarine and Coastal Science*, Waltham: Academic Press, 2011, p 125-162.
- BRANCO, E.S.; FEITOSA, F.A.N.; FLORES MONTE, M.J. **Variabilidade sazonal e temporal da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros hidrológicos no estuário de Barra das Jangadas (Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco-Brasil)**. *Tropical Oceanography*, v.30, p. 79-96. 2002.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Ministério do Meio Ambiente. **Diagnóstico da carcinicultura no Estado do Ceará.** IBAMA, 2005. 240 p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/0B19D3B1/DIAGDACARCINICULTURACEARA.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2016.

CARVALHO, M.S.B.S; SOUZA, M.J.N.; FILHO, M.R.F.; SOARES, A.N.L. **Caracterização do uso e ocupação do estuário e entorno do Rio Pirangi (CE).** SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte, Brasil. *Anais ...* Belo Horizonte:INPE, 2003, p. 1525-1532.

CEARÁ. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Secretária dos Recursos Hídricos. Chuvas Diárias: Calendário das chuvas no Estado do Ceará. Disponível em: <http://www.funceme.br/index.php/areas/23monitoramento/meteorológico/406-chuvas-diárias>. Acesso em: 17 ago.2016.

CEARÁ. SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO SUPERIOR. **Avaliação do uso potencial de áreas estuarinas a partir da identificação e caracterização do comportamento de variáveis hidro-climáticas, oceanográficas e ambientais – Estudos de caso: rio Pirangi-CE.** 2007, 219 p. Disponível em: <<http://www.funceme.br/documents/Projetos/Pirangi.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

COLE, G.A. **Textbook of limnology.** Illinois, USA: Waveland Press, 1983.

CLOERN, J. E.; FOSTER, S. Q.; KLECKNER, A. E. **Phytoplankton primary production in the world's estuarine-coastal ecosystems.** *Biogeosciences*, v. 11, p. 2477-2501, 2014.

CLOERN, J. E.; JASSBY, A. D.: **Patterns and Scales of Phytoplankton Variability in Estuarine-Coastal Ecosystems,** *Estuarine, Coastal and Shelf Science*,v. 33, 230–241,2010.

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

ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de Limnologia.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência Ltda, 1998.

FEITOSA, F.A.N.; NASCIMENTO, F.C.R.; COSTA, K.M.P. **Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros hidrológicos na bacia do Pina, Recife, Pernambuco, Brasil.** *Trabalhos Oceanográficos Universidade Federal de Pernambuco*, v. 27 (2), p. 1-13, 1999.

GREGO, C.K.S.; FEITOSA, A.N.; HONORATO DA SILVA, M., FLORES-MONTES, M.J. **Distribuição espacial e sazonal da clorofila *a* fitoplanctônica e hidrologia do estuário do rio Timbó (Paulista -PE).** *Tropical Oceanography*, v.32, p.118-199, 2004.

HARDING, JR. L.W.; MALLONEE, M.E.; PERRY, E.S.; MILLER, W.D.; ADOLF, J.E.; GALLEGOS, C.L.; PAERL. H.W. **Variables climatic conditions dominate recent phytoplankton dynamics in Chesapeake Bay.** *Scientific Reports*, v. 6 p. 23773, 2015.

HONORATO DA SILVA, M.; PASSAVANTE, J.Z.O.; SILVA-CUNHA, M.G.G.;

NASCIMENTO VIEIRA, D.A.; GREGO, C.K.S.; MUNIZ, K. **Distribuição espacial e sazonal da biomassa fitoplanctônica e dos parâmetros hidrológicos no estuário do rio formoso (Rio Formoso, Pernambuco, Brasil)**. *Tropical Oceanography*, v. 32, p. 89-106, 2004.

IRIGOIEN, X.; CASTEL, J. **Light Limitation and Distribution of Chlorophyll Pigments in a Highly Turbid Estuary: the Gironde (SW France)**. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 44, p. 507–517, 1997.

LANCELOT, C.; MUYLAERT, K. **Trends in Estuarine Phytoplankton Ecology**. In: WOLANSKI E.; MCLUSKY D.S. (Eds.), *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, Waltham: Academic Press, 2011, p 5-15.

LARGIER, J.L., HOLLIBAUGH, J.T., SMITH, V. **Seasonally hypersaline estuaries in Mediterranean-climate regions**. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 45, p. 789–797, 1997.

LEÃO, B.M.; PASSAVANTE, J.Z.O.; SILVA-CUNHA, M.G.G.; SANTIAGO, M.F. **Ecologia do microfitoplâncton do estuário do rio Iguarassu, PE, Brasil**. *Acta Botânica Brasileira*. Minas Gerais, v.2, p.711-722. 2008.

LETERME, S. C.; ALLAIS, L.; JENDYK, J.; HEMRAJ; D. A.; NEWTON, K.; MITCHELL, J.; SHANAFIELD, M. **Drought conditions and recovery in the Coorong wetland, south Australia in 1997 - 2013**. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 163 p. 175-184, 2015.

LOURENÇO, S.O.; MARQUES JÚNIOR, A.N. **Produção primária marinha**. In PEREIRA, C.P.; SOARES-GOMES, A. (Org.) *Biologia Marinha*. – 2º Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

KENNISH, M.J. **Ecology of estuaries: biological aspects**. Boca Raton: CRC Press. 1990. 494p.

MACÊDO, S.J.; COSTA, K.M.P. **Estudo ecológico da região de Itamacará Pernambuco- Brasil, condições hidrológicas do estuário do rio Botafogo**. *Ciência e Cultura*. São Paulo, v. 30, p.368, 1978.

MARENGO, J.A; BERNASCONI, M. **Regional differences in aridity/ drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections**. *Climate Change*, v. 129, p.103–115, 2015.

MARENGO, J.A.; TORRES, R.R.; ALVES, L.M. **Drought in Northeast Brazil—past, present, and future**. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 124, p. 1-12, 2016.

MESQUITA, E.V.; FROTA, P.V.; SOARES, V.L. **Carcinicultura no litoral do Ceará: Análise das modificações impressas no estuário do Rio Pirangi – CE**. *Revista Geonorte*, v.1, p.540-551, 2012.

MIRANDA, L.B., CASTRO, B. M., KJERVE., B. **Princípios de oceanografia física de estuários**. EDUSP, São Paulo. 2002. 411p.

NCHE-FAMBO, F.A.; SCHARLER, U.M.; TIROK, K. **Resilience of estuarine phytoplankton and their temporal variability along salinity gradients during**

drought and hypersalinity. Estuarine, Coastal and Shelf Science, v. 158, p. 40-52, 2015.

NORIEGA, C. D.; MUNIZ, K.; ARAÚJO, M. C.; TRAVASSOS, R. K.; NEUMANN-LEITÃO, S. **Fluxos de nutrientes inorgânicos dissolvidos em um estuário tropical – Barra das Jangadas – PE, Brasil.** Tropical Oceanography, 33 (2) (2005) 131-141.

ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecologia.** 6ª ed. São Paulo: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004. 823p.

ODUM, P.E, BARRET, G.W. **Fundamentos de Ecologia.** 5ª ed. São Paulo, CENGAGE Learning, 2011. 612p.

PASSAVANTE, J.Z.O. **Produção primária do fitoplâncton no canal de Santa Cruz (Itamaracá-Pernambuco).** 1979. 188p. Tese. (Doutorado em Oceanografia Biológica) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1979.

PEARL, H.W.; JUSTIC, D. Estuarine phytoplankton. In: DAY JR. J.W.; CRUMP; B.C.; KEMP, W.M.; YANEZ-ARANCIBIA, A. (Ed). Estuarine Ecology. New York; John Wiley & Sons, 2013. p. 558.

PINHEIRO, R.D. **Análise do comportamento hidrodinâmico e sedimentológico do estuário do Rio Piranji- CE (NE, BRASIL).** 2003. 176p. Dissertação. (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul. 2003.

PINTO-COELHO, R.M. **Fundamentos em ecologia.** Porto Alegre; Artmed, 2010.252p.

POTTER I.C.; CHUWEN, B.M.; HOEKSEMA, S.D.; ELLIOTT, M. **The concept of an estuary: A definition that incorporates systems which can become closed to the ocean and hypersaline.** Estuarine Coastal and Shelf Science, v. 87, p. 497-500, 2010.

RABALAIS, N. N.; TURNER, R. E.; DÍAZ, R. J.; JUSTIC, D. **Global change and eutrophication of coastal waters.** Journal of Marine Science, v.66, p.1528-1537, 2009.

REYNOLDS, C. S. **The ecology of phytoplankton.** Cambridge University Press, 2006. 535p.

ROZENDO, B.M. **Como nutrientes e sólidos suspenso variam em um estuário hipersalino?.** 2017. 55p. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, 3013-2017.

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 (Galinhos, Rio Grande do Norte, Brasil).** Tropical Oceanography, v. 33, p. 39–55, 2005.

SANTOS, T.G.; BEZERRA-JUNIOR, J.L.; COSTA, K.M.P.; FEITOSA, F.A.N. **Dinâmica da biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais em um estuário tropical (Bacia do Pina, Recife, PE).** Revista Brasileira de Engenharia de Pesca, v. 4(1), p. 95-108. 2009.

SCHETTINI, C. A.f.; VALLE-LEVINSON, A.; TRUCCOLO, E. C. **Circulation and transport in short, low-inflow estuaries under anthropogenic stresses.** Marine Science. S. L., p. 52-64, 2017.

SILVA, I.B.; FUJII, M.T. **Diversidade de algas marinhas**. Instituto de Botânica. São Paulo, 2010. 11p.

SMITH, V. H.; TILMAN, G. D.; NEKOLA, J. C. **Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems**. Environmental Pollution, v. 7491, p. 179-196, 1999.

SMITH, V.H.; JOE, S.B.; HOWARTH, R.W. **Eutrophication of freshwater and marine ecosystems**. Limnol. Oceanogr., v. 51(1, part 2), p. 351–355, 2006.

TELESH, I.V.; KHLEBOVICH, V.V. **Principal processes within the estuarine salinity gradient: a review**. Marine Pollution Bulletin, v. 61, p.149-155. 2010.

TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Biblioteca Universitária. **Guia de normalização de trabalhos acadêmicos da Universidade Federal do Ceará**. Fortaleza, 2013.

WINDER, M.; SOMMER, U. **Phytoplankton response to a changing climate**. Hydrobiologia, v. 98, p. 5–16. 2012.

WOOLDRIDGE, T.H.; ADAMS, J.B.; FERNANDES, M. **Biotic responses to extreme hypersalinity in an arid zone estuary, South Africa**. South Africa Journal of Botany, v. 107, p. 160-169, 2016.

VALLE-LEVINSON, A. **Definition and classification of estuaries**. In: Valle-Levinson, A. (Ed.), Contemporary Issues in Estuarine Physics, 1º Ed. New York: Cambridge University Press, 2010, p. 1-11.

WINDER, M.; CLOERN, J. E. **The annual cycles of phytoplankton biomass**. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, v. 365, p. 3215–3226, 2010.