



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

LAISA MADUREIRA DA SILVA

PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA E DINÂMICA DA COMUNIDADE
FITOPLANCTÔNICA EM UM COMPLEXO ESTUARINO TROPICAL
(PERNAMBUCO-BRASIL)

Recife

2019

LAISA MADUREIRA DA SILVA

**PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA E DINÂMICA DA COMUNIDADE
FITOPLANCTÔNICA EM UM COMPLEXO ESTUARINO TROPICAL
(PERNAMBUCO-BRASIL)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de doutor em Oceanografia.

Área de concentração: Oceanografia Biológica

Orientador: Prof. Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa

Coorientadora: Profa. Dra. Maria da Glória Gonçalves da Silva-Cunha

Coorientador: Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores-Montes

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

S586p Silva, Laia Madureira da.
 Produtividade primária e dinâmica da comunidade fitoplanctônica em um
 complexo estuarino tropical (Pernambuco-Brasil) / Laia Madureira da Silva –
 Recife, 2019.
 80 f.: il.

 Orientador: Prof. Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa
 Coorientadora: Profa. Dra. Maria da Glória Gonçalves da Silva-Cunha
 Coorientador: Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores-Montes
 Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa
 de Pós-Graduação em Oceanografia, 2019.
 Inclui referências.

 1. Oceanografia. 2. Área portuária. 3. Fitoplâncton. 4. Biomassa em
 carbono. 5. Produtividade primária. 6. Hidrologia. I. Feitosa, Fernando Antônio
 do Nascimento (Orientador). II. Silva-Cunha, Maria da Glória Gonçalves da
 (Coorientadora). III. Flores-Montes, Manuel de Jesus. IV. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG / 2020-149

LAISA MADUREIRA DA SILVA

**PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA E DINÂMICA DA COMUNIDADE
FITOPLANCTÔNICA EM UM COMPLEXO ESTUARINO TROPICAL
(PERNAMBUCO-BRASIL)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de doutor em Oceanografia.

Aprovada em: 29 / 11 / 2019.

Prof. Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Profa. Dra. Sigrid Neumann Leitão – Titular interno
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Prof. Dr. Pedro A. M. de Castro Melo – Titular interno
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Dra. Raquel Correia de Assis Machado – Titular externa
Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC

Profa. Dra. Christiana Kelly da Silva Grego – Titular externo
Programa de Educação Integral Escola de Referência Sizenando
Silveira

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Oceanografia em nome do seu chefe Prof. José Souto Rosa Filho e ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, na pessoa dos coordenadores Profa. Monica Ferreira da Costa e Prof. Jesser Fidelis de Souza Filho, por propiciar suporte estrutural e técnico, permitindo a utilização de todas as suas dependências.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao meu orientador Prof. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa, pelo incentivo, apoio, confiança e amizade. Desde o início do mestrado, sempre esteve disposto a me auxiliar da melhor maneira possível. O senhor é um ser humano e um professor admirável.

À minha coorientadora Profa. Maria da Glória Gonçalves da Silva-Cunha, por todos os ensinamentos, apoio durante o processo de construção da tese e pela amizade. O seu acolhimento e incentivo foram fundamentais para que eu até chegasse aqui.

Ao meu coorientador Prof. Manuel de Jesus Flores Montes, pela confiança em me disponibilizar os dados desse trabalho, pelos valiosos ensinamentos, apoio e amizade.

À Doutora Flávia Marisa Prado Saldanha-Corrêa, por todos os ensinamentos sobre as técnicas para análise da produtividade primária e pela carinhosa receptividade na minha ida à USP.

Ao professor Carlos Noriega, pelas valiosas sugestões e contribuições nas análises estatísticas.

Aos membros da banca examinadora, Pedro Melo, Sigrid Neumann- Leitão, Marcos Honorato, Christiana Grego, Raquel Machado e Roberto Barcellos, pela disponibilidade em participar desse momento tão especial.

Aos funcionários do Departamento de Oceanografia, em especial aos técnicos, Leandro e Gislayne pelo total apoio nas etapas de laboratório, leitura e correção desse trabalho e a André, Edileuza e Hermes, por tratarem a todos com carinho e cuidado.

Aos amigos dos Laboratórios de Fitoplâncton, Zooplâncton e Química, Nayana, Isis, Marcela, Nize, Lisana, Andreza, Marina, Keyla, Joseane, Breno, Felipe, Dani, Renata e Flávio, pelos melhores momentos que vivi nessa trajetória.

À Amanda Yumi, pela amizade e ajuda em tudo que precisei. Sei que sempre posso contar com você para qualquer coisa e a qualquer momento. Muito obrigada!

À Ana Karoline, por toda ajuda com as análises estatísticas e pela amizade sólida que construímos em tão pouco tempo. Obrigada!

A toda equipe da Escola Municipal Maurício Martins de Albuquerque na pessoa dos meus gestores Maria e Carlos, pela compreensão e apoio na fase final da escrita da tese.

À minha família em especial aos meus pais, Ulisnet e Luciano, minha irmã, Livia, minha avó, Severina e minha tia Luciene, que estiveram sempre comigo nessa longa e desafiadora trajetória! Ao meu esposo amado, Eduardo, que não largou minha mão em nenhum momento, que esteve forte ao meu lado para absolutamente tudo, obrigada pelo seu amor e companheirismo! Vocês são os meus pilares de sustentação, minha alegria e força!

Ao meu bom Deus, pelo presente que é viver esse momento e por me capacitar e encher de força!

RESUMO

No final da década de 70 deu-se início as obras de construção do complexo industrial e portuário na área estuarina de Suape, distando cerca de 50 km da cidade do Recife ($8^{\circ}23'45''$ S e $34^{\circ}58'4''$ W). A edificação do empreendimento vem causando uma série de impactos, entre eles: alteração da hidrodinâmica do local, supressão do manguezal, canalização de rios e obras de dragagens. O objetivo principal dessa pesquisa foi investigar o efeito da ação antrópica, variabilidade climática, ciclos de maré e espacialidade sobre a dinâmica da comunidade fitoplanctônica, presente nas águas adjacentes à referida região portuária. O estudo compreendeu 6 campanhas, 3 no período de estiagem e 3 no chuvoso, na preamar e baixa-mar em maré de sizígia. As amostras de água para análises biológicas (clorofila *a*, produtividade e densidade fitoplanctônica) e hidrológicas (oxigênio, material particulado em suspensão e nutrientes dissolvidos) foram coletadas na subsuperfície, utilizando garrafa de Niskin e rede de plâncton. A profundidade local com um ecobatímetro, a temperatura, salinidade, através de um CTD e a transparência, pelo disco de Secchi. A temperatura se manteve sempre elevada, registrando uma pequena amplitude térmica, a salinidade oscilou de 32.15 a 37.20. A concentração de nitrato e o silicato foram mais elevados no período chuvoso, enquanto que a amônia foi maior na estiagem, favorecendo o aumento da clorofila *a* e produtividade primária, que variaram de 0.02 a 2.45 mg m⁻³ e 0.34 a 4.32 mg_C m⁻³ ha⁻¹, respectivamente. A clorofila *a* < 20 µm foi a que mais contribuiu com o ecossistema estuarino, correspondendo a 88.57 %. A densidade e o biovolume celular das diatomáceas e cianobactérias foram maiores no período chuvoso, diretamente relacionadas com o nitrato, silicato e mps. Enquanto o número de célula por litro e biovolume dos dinoflagelados foram maiores período de estiagem, influenciados positivamente pela salinidade e temperatura, sendo esse filo o mais produtivo, com destaque para a espécie *Gymnodinium* sp.. Foram identificados 127 táxons, agrupados nos filos Bacillariophyta (75.8%), Miozoa (14.17%), Cyanobacteria (7.08%), Chlorophyta (2.36%) e Euglenozoa (0.78%). As espécies *Bacillaria paxillifera* (O.F.Müller) T.Marsson, *Oscillatoria* sp., *Gymnodinium* sp., *Protoperdinium* sp.5, *Pseudo-nitzschia pungens* (Grunow ex Cleve) Hasle, foram as mais representativas. Quanto ao aspecto ecológico, 55.91% dos táxons foram planctônicos marinhos, 32.25% micoplanctônicos neríticos, 6.35% dulcícolas e 5.37% estuarinas. A variabilidade climática e as constantes alterações antrópicas levaram a uma menor

contribuição continental, aumento da interferência marinha, diluição dos nutrientes, diminuição na produtividade primária e modificação na estrutura da comunidade fitoplanctônica, podendo causar danos aos demais elos da teia trófica do sistema.

Palavras-chave: Área portuária. Fitoplâncton. Biomassa em carbono. Produtividade primária. Hidrologia.

ABSTRACT

In the late 1970s, construction work began on an industrial and port complex in the estuary area of Suape, about 50 km from Recife (8°23'45" S e 34°58'4" W). The construction of the project has been causing a series of impacts, including: alteration of the hydrodynamics of the site, suppression of the mangrove, channeling of rivers and dredging works. The main objective of this research was to investigate the effect of anthropic action, climate variability, tidal cycles and spatial on the dynamics of the phytoplankton community present in the waters adjacent to the port region. The study comprised 6 campaigns, 3 in the dry season and 3 in the rainy season, at high tide and low tide at spring tide. Water samples for biological (chlorophyll a, productivity and phytoplankton density) and hydrological (oxygen, particulate matter suspended and dissolved nutrients) analyzes were collected at the subsurface using a Niskin bottle and plankton net. Local depth with an echo sounder, temperature, salinity through a CTD and transparency by Secchi disc. The temperature always remained high, registering a small thermal amplitude, the salinity oscillated from 32.15 to 37.20. Nitrite and silicate concentrations were higher in the rainy season, while ammonia was higher in the dry season, favoring the increase of chlorophyll a and primary productivity, which ranged from 0.02 to 2.45 mg m⁻³ and 0.34 to 4.32 mg_C m⁻³ ha⁻¹, respectively. Chlorophyll a < 20 μm was the major contributor to the estuarine ecosystem, corresponding to 88.57%. The density and cell biovolume of diatoms and cyanobacteria were higher in the rainy season, directly related to nitrite, silicate and mps. While the cell number per liter and biovolume of the dinoflagellates were longer drought period, positively influenced by salinity and temperature, this phylum was the most productive, especially *Gymnodinium* sp.. 127 taxa were identified, grouped in the Bacillariophyta phylum (75.8%), Miozoa (14.17%), Cyanobacteria (7.08%), Chlorophyta (2.36%) and Euglenozoa (0.78%). The species *Bacillaria paxillifera* (O.F.Müller) T.Marsson, *Oscillatora* sp., *Gymnodinium* sp., *Protopteridinium* sp.5, and *Pseudo-nitzschia pungens* (Grunow ex Cleve) Hasle were the most representative. Regarding the ecological aspect, 55.91% of the taxa were marine planktonic, 32.25% neritic ticoplanktonic, 6.35% freshwater and 5.37% estuarine. Climatic variability and constant anthropogenic changes have led to lower continental contribution, increased marine interference, nutrient dilution, decreased primary productivity and modification of the phytoplankton commu-

nity structure, which may damage the other links in the food web of the system.

Keywords: Port area. Phytoplankton. Carbon biomass. Primary productivity. Hydrology.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	ESTRUTURA DA TESE.....	13
2	PRODUTIVIDADE FITOPLANCTÔNICA E HIDROLOGIA EM UM COMPLEXO ESTUARINO IMPACTADO NO NORDESTE DO BRASIL..	15
3	DINÂMICA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA EM UMA ÁREA INDUSTRIAL E PORTUÁRIA (SUAPE, PERNAMBUCO, BRASIL)	36
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
	REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

Os ecossistemas estuarinos são zonas de transição entre o continente e o mar, fortemente influenciados pela variabilidade climática, drenagem continental e movimentação das marés. De forma isolada ou conjunta, esses fatores promovem alterações nos parâmetros ambientais, bem como na composição e diversidade da comunidade fitoplanctônica local^{1,2}.

Dentre os principais produtores primários de matéria orgânica, as microalgas são definidas como indispensáveis ao funcionamento dos ecossistemas. Calcula-se que estes organismos são responsáveis por cerca de 95% da produção mundial de matéria orgânica dos oceanos³, base de toda cadeia alimentar aquática. Além disso, as microalgas também são fundamentais ao monitoramento das condições ambientais prevalentes. Em virtude do seu curto ciclo de vida, respondem de maneira rápida às perturbações ambientais, originadas de maneira antrópica ou natural. O fitoplâncton é considerado, portanto, um indicador sensível na detecção de alterações ecológicas e hidrológicas dos ecossistemas aquáticos, incluindo estuários⁴.

A estrutura da comunidade fitoplanctônica presente na costa tropical é fortemente influenciada pela incidência de chuvas, input de nutrientes, material particulado em suspensão, concentração de gases dissolvidos, transparência da coluna d'água, temperatura, salinidade ou ainda pela predação e herbivoria^{5,6}. Além desses fatores, características geomorfológicas⁷, condições climáticas⁸ e impactos antrópicos⁹, também contribuem para modificações das características taxonômicas, da dinâmica espaço-temporal, dos padrões ecológicos e da fisiologia da flora planctônica¹⁰.

Entre as atividades antrópicas que se desenvolvem nas proximidades dos estuários e que causam maiores danos ao ambiente, estão a construção e instalação de portos. Na implantação de um porto, geralmente são necessárias áreas de grande extensão, que podem ser totalmente descaracterizadas quanto às suas particularidades físicas. A terraplanagem, desmatamento, dragagem e aterros, são os principais fatores que afetam os ecossistemas, em especial aqueles considerados ambientalmente frágeis^{11,12}.

Com objetivo de solucionar uma crise econômica enfrentada pelo Estado de Pernambuco, foi implantado, ao final da década de 70, um Complexo Industrial e Portuário no sistema estuarino de Suape⁷. A construção desse empreendimento gerou uma série de impactos

ambientais, como a sedimentação por dragagem; assoreamento/erosão; dinamitação do recife; aterros sobre a linha recifal, manguezal e planície costeira; destruição dos manguezais adjacentes; tráfego de embarcações de grande porte; e, descargas de efluentes industriais e domésticos, principais fontes de contaminação das águas e de sedimentos com metais pesados e poluentes orgânicos^{13,14}. Suape assim representa um exemplo claro de ecossistema costeiro altamente vulnerável, sujeito a uma série de alterações físicas e estruturais ocasionadas pela industrialização e ocupação; bem como pelo consequente crescimento desordenado da população e uso indevido do solo em zonas costeiras¹⁵.

Diversas pesquisas científicas foram realizadas no sistema estuarino de Suape, antes e depois da construção do complexo industrial e portuário. Dentre os estudos relacionados, podem-se destacar aqueles desenvolvidos por: Melo Filho¹⁶, acerca da poluição ambiental do local; Lima¹⁷, Lima e Costa¹⁸ e Braga, et al.¹⁹ sobre a vegetação; Neumann-Leitão et al.²⁰, Neumann-Leitão²¹, Silva et al.²² e Pessoa et al.²³ em relação à comunidade zooplânctônica; Vasconcelos Filho et al.,²⁴, Silva et al.²⁵ e Bezerra Junior et al.²⁶ acerca do ictioplâncton; e Cavalcanti et al.²⁷, CONDEPE²⁸, Muniz et al.²⁹, Nascimento-Filho et al.³⁰, Sousa-Santos e Araújo³¹ e Zardini-Lamardo et al.³², sobre a hidrologia da região.

Em relação aos trabalhos sobre a comunidade fitoplanctônica e clorofila *a* pode-se destacar aqueles realizados por Eskinazi-Leça³³; Eskinazi-Leça e Koenig³⁴; Koenig e Eskinazi-Leça³⁵; Koenig et al.³⁶; Koenig et al.^{7,37}; Borges³⁸; Alves et al.³⁹; Batista e Flores-Montes⁴⁰; e, Cordeiro et al.⁴¹.

Embora existam estudos à respeito do fitoplâncton na referida área de estudo, os fatores que governam a composição e produção da comunidade fitoplanctônica em estuários impactados nessa magnitude precisam ser melhor compreendidos. O presente trabalho busca preencher tais lacunas, fornecendo novas informações sobre as respostas populacionais qualitativas e quantitativas da comunidade fitoplanctônica aos impactos ambientais, oriundos da implantação e posterior ampliação do Complexo Industrial e Portuário de Suape. Diante desse pressuposto, objetivamos:

- Determinar as variações espaciais e temporais da produtividade primária, composição florística, clorofila *a*, biovolume algal, biomassa em carbono, bem como os parâmetros hidrológicos (temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, taxa de saturação do oxigênio,

nutrientes e material particulado em suspensão) em diferentes estágios de maré;

- Identificar os organismos fitoplanctônicos, quando possível em menor nível taxonômico, específico e infraespecífico e quantificá-los;
- Analisar a comunidade fitoplanctônica em função da abundância relativa, frequência de ocorrência, diversidade específica e equitabilidade;
- Avaliar a comunidade e o ambiente em função dos padrões ecológicos das espécies;
- Caracterizar o grau de eutrofização da área estudada.

1.1 ESTRUTURA DA TESE

De acordo com os objetivos e resultados obtidos ao longo da realização do presente estudo, esta tese foi dividida em quatro capítulos, sendo o primeiro referente à introdução geral, o segundo e o terceiro a artigos científicos e o quarto com considerações finais, todos esses seguem as normas da ABNT.

Capítulo 1 “*Introdução geral*”

Este material compreende uma introdução geral abordando os diferentes temas, justificativa, objetivos e uma breve revisão bibliográfica sobre as pesquisas desenvolvidas na área portuária de Suape.

Capítulo 2 “*Produtividade fitoplanctônica e hidrologia em um complexo estuarino impactado no nordeste do Brasil*”

Este artigo teve como foco avaliar a capacidade produtiva da comunidade fitoplanctônica e outras variáveis ambientais na área estuarina de Suape, levando em consideração as constantes alterações morfológicas, sedimentológicas e hidrológicas que o local vem enfrentando devido à implementação e expansão de um complexo industrial e portuário.

Capítulo 3 “*Dinâmica da comunidade fitoplanctônica em uma área industrial e portuária (Suape, Pernambuco, Brasil)*”

O principal objetivo do artigo foi avaliar de que forma a variabilidade climática, espacialidade, movimento de maré e as alterações antrópicas, ocasionadas pela construção e expansão do Complexo Industrial e Portuário de Suape (CIPS), afetaram a dinâmica da comunidade fitoplanctônica e as variáveis abióticas presentes do local.

Capítulo 4 “*Considerações finais*”

Este capítulo teve como meta, avaliar as ações antrópicas ocorridas no CIPS e suas consequências sobre a comunidade fitoplanctônica e a hidrodinâmica local.

2 PRODUTIVIDADE FITOPLANCTÔNICA E HIDROLOGIA EM UM COMPLEXO ESTUARINO IMPACTADO NO NORDESTE DO BRASIL

ABSTRACT

The aim of the current study was to evaluate the productive capacity of the phytoplankton community and other environmental variables in the estuarine area of Suape; while considering the constant morphological, sedimentological and hydrological changes, the site has been facing due to the implementation and expansion of an industrial and port complex. The study comprised 6 campaigns: 3 in the dry season and 3 in the rainy season. Water samples were collected from the surface layer of the internal and external portions of the estuarine bay during low spring tides. The salinity ranged from 32.15 to 37.20, the water temperature ranged from 26.55 °C to 29.44 °C, and the oxygen saturation rate ranged from 58.53% to 114.46%. There was significant seasonal variation. The nitrite concentration was higher during the rainy season, whereas the ammonia concentration was higher during the dry season; the higher ammonia concentration helped increase chlorophyll *a* levels and rates of primary productivity, which ranged from 0.02 mg m⁻³ to 2.45 mg m⁻³ and from 0.34 mg_C m⁻³ ha⁻¹ to 4.32 mg_C m⁻³ ha⁻¹, respectively. Chlorophyll *a* < 20 μm was the fraction of biomass most commonly present in the estuarine ecosystem, accounting for 88.57% of the chlorophyll *a* - containing biomass, and this reflected the low nutrient content in the water and indicated that the area was free from eutrophication processes. The decrease of rainfall during the sampling months and the anthropogenic changes in the environment led to reduced continental contributions, increased marine interference, nutrient dilution and loss of phytoplankton production capacity in Suape Bay, which severely damaged other trophic links in the ecosystem.

Keywords: Estuarine Area, Phytoplankton, Primary Productivity, Chlorophyll *a*, Suape Bay

RESUMO

O objetivo da presente pesquisa foi avaliar a capacidade produtiva da comunidade fitoplanctônica e outras variáveis ambientais na área estuarina de Suape, levando em consideração as constantes alterações morfológicas, sedimentológicas e hidrológicas que vem ocorrendo no

local, em consequência da instalação e expansão de um complexo industrial e portuário. O estudo compreendeu 6 campanhas, 3 no período de estiagem e 3 no período chuvoso. As amostras de água foram coletadas na porção interna e externa da baía portuária, na camada superficial, durante as baixa-mares de sizígia. A salinidade variou de 32.15 a 37.20, a temperatura variou de 26.55 °C a 29.44 °C e taxa de saturação do oxigênio de 58.53% a 114.46%, com variação sazonal significativa. A concentração do nitrito foi mais elevada no período chuvoso, enquanto que a amônia foi na estiagem, favorecendo o aumento da clorofila *a* e produtividade primária, que variaram de 0.02 a 2.45 mg m⁻³ e 0.34 a 4.32 mg_C m⁻³ ha⁻¹, respectivamente. A clorofila *a* < 20 µm foi a que mais contribuiu com o ecossistema estuarino, correspondendo a 88.57 % - contendo biomassa, refletindo os baixos teores de nutrientes e indicando que a área está livre do processo de eutrofização. A redução da pluviometria e as alterações antropogênicas no ambiente levaram a uma redução da contribuição continental, aumento da interferência marinha, diluição dos nutrientes e perda na capacidade produtiva do fitoplâncton na Baía de Suape, causando sérios danos aos demais elos da teia trófica do sistema.

Palavras chave: Área Estuarina, Fitoplâncton, Produtividade Primária, Clorofila *a*, Baía de Suape.

INTRODUÇÃO

Os estuários são ambientes dinâmicos, que ocorrem na zona de transição entre o continente e o oceano. Além disso, estão sujeitos a uma alta variabilidade dos parâmetros físicos e hidroquímicos⁴².

São ainda sistemas únicos, considerados berçários da vida aquática, por fornecerem proteção e alimento em abundância, ideal para que diferentes organismos habitem e se reproduzam⁴³.

Certos aspectos do ecossistema estuarino, como sua alta produtividade, facilidade de navegação e por ser uma área abrigada de ondas e correntes, torna-o um local desejável para o estabelecimento de empreendimentos residenciais, recreativos, industriais e portuários⁴⁴.

A importância econômica dos portos em termos de comércio internacional cresceu significativamente, particularmente nos países em desenvolvimento. Assim, os portos tem sido um

componente vital para a economia global⁴⁵. Entretanto, estão atreladas a construção e ampliação portuária, diversos impactos antropogênicos incluindo, a supressão da vegetação, terraplanagem, aterros e dragagens⁴⁶, alterações nos padrões de distribuição de sedimentos e das correntes costeiras⁴⁷.

Modificações na geomorfologia, sedimentologia e hidrodinâmica estuarina afetam diretamente a fisiologia do fitoplâncton¹⁰, a sua biomassa e estrutura da comunidade⁴⁸, além de influenciar a produtividade primária local⁴⁹.

A produção primária está sempre em dependência dos efeitos sinérgicos dos fatores meteorológicos, físicos, químicos e biológicos que limitam ou estimulam a atividade dos organismos planctônicos clorofilados^{50,51}.

A determinação da produtividade primária, baseada no ^{14}C , tem sido indicada para caracterizar o estado trófico de corpos hídricos⁵², uma vez que o fitoplâncton reage rapidamente as alterações físicas e químicas que ocorrem nesse meio, além de ser uma técnica sensível e precisa⁵³.

O sistema estuarino de Suape é uma das regiões de maior relevância ecológica e econômica do estado de Pernambuco. Nos últimos anos, tem enfrentado um processo contínuo de degradação devido à expansão de um complexo industrial e portuário (CIPS). Diversas pesquisas foram realizadas para avaliar a qualidade da água^{29,39,40,54} e investigar a biodiversidade local⁵⁵⁻⁵⁸.

Assim, o objetivo do presente estudo foi melhorar a compreensão da capacidade de produtividade da comunidade fitoplanctônica (com base na técnica do ^{14}C) e das variáveis ambientais, considerando as constantes mudanças antrópicas que estão ocorrendo na área costeira de Suape.

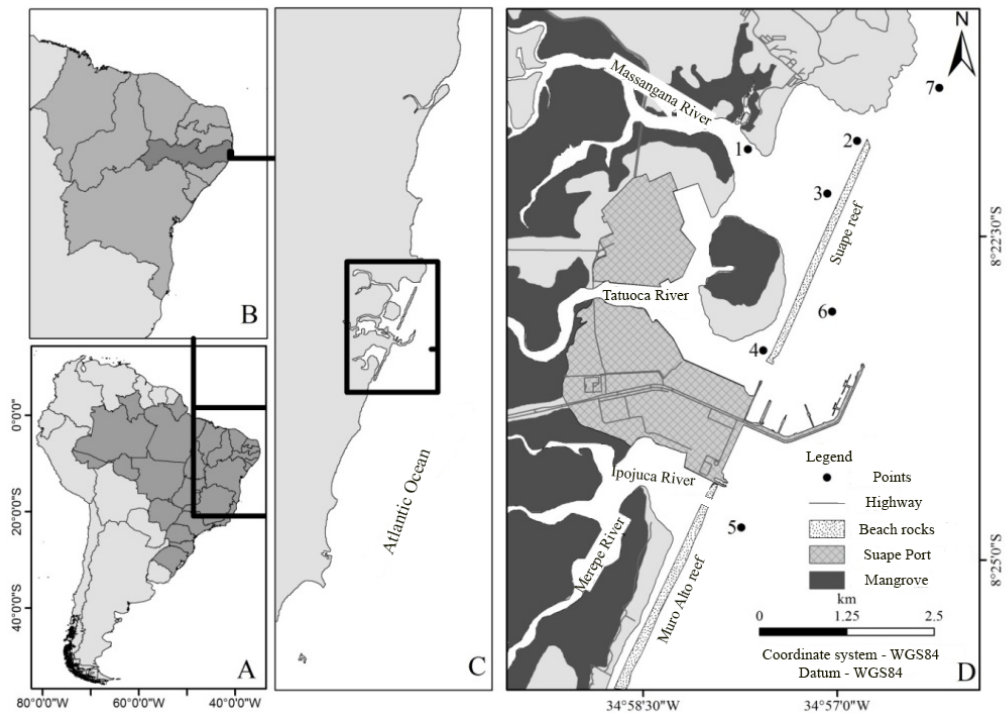
MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo e Protocolo de Amostragem

O sistema estuarino de Suape está localizado aproximadamente 50 km da capital do estado de Pernambuco ($8^{\circ}23'45''$ S e $34^{\circ}58'4''$ W) (Figura 1). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é quente e úmido (tipo As'), com as estações chuvosa (Março a Agosto) e de estiagem (Setembro a Fevereiro) bem definidas. A precipitação anual varia de

1850 a 2364 mm, com temperatura média do ar de 24 °C, umidade relativa acima de 80% e com ventos predominantemente de sudeste^{59,60}.

Figura 1 – Localização dos pontos de amostragem nas adjacências do Complexo Industrial e Portuário de Suape, Pernambuco, Brasil. Fonte: produzido pelos autores, 2016



Quanto às características oceanográficas, as marés registradas na área são semi-diurnas, sendo classificadas em termos de amplitude como meso-maré⁶⁰.

Antes da construção do Complexo Industrial e Portuário de Suape (CIPS), quatro rios (Massangana, Tatuoca, Ipojuca e Merepe) convergiam para a Baía de Suape e tinham as suas águas canalizadas por uma extensa e contínua linha de recifes de arenito, desembocando ao norte no Cabo de Santo Agostinho. A edificação do porto bloqueou o fluxo dos rios Ipojuca e Merepe, causando retenção da água e acumulação de uma grande quantidade de material em suspensão. Para minimizar o problema, foi feita uma abertura parcial na linha de recife, próximo à jusante do rio Ipojuca⁶¹. Anos depois uma segunda quebra foi realizada, afim de permitir o acesso de embarcações na porção interna do porto, dividindo o recife original em duas partes: recife de Muro Alto ao sul e o recife de Suape ao norte.

As amostras para nutrientes (compostos nitrogenados inorgânicos, fosfato, silicato) oxigênio dissolvido, clorofila *a* e produtividade fitoplancônica foram coletadas em novembro/2015,

janeiro/2016 e janeiro/2017 (período estiagem) e abril, julho e agosto/2016 (período chuvoso) em baixa-mar, durante a maré de sizígia. As amostragens foram feitas na porção interna do porto (P1, P2, P3 e P4) e externa (P5, P6 e P7), com P5 sob influência da pluma dos rios Ipojuca e Merepe.

Climatologia e Variáveis Ambientais

Os dados pluviométricos foram obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia⁶².

Os parâmetros hidrológicos determinados foram batimetria, através de um ecobatímetro (ecobatímetro digital, LCD, resolução de 0.1 m); transparência da água, com um disco de Secchi; material particulado em suspensão (MPS), pelo método gravimétrico de volatilização, adaptado por Strickland e Parsons⁶³; temperatura e salinidade, por um CTD; concentração de oxigênio dissolvido (OD), de acordo com o método modificado de Winkler e descrito por Strickland e Parson⁶³ (precisão de $\pm 1.3 \mu\text{mol}$) e sua taxa de saturação, através da tabela da UNESCO⁶⁴; nutrientes dissolvidos como amônia (NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), segundo o método de Strickland e Parsons⁶³; o fosfato (PO_4^-) e o silicato (SiO_2^-) pelo método de Grasshoff et al.⁶⁵. O nitrogênio inorgânico dissolvido (DIN) foi calculado a partir da soma da $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$, silicato inorgânico dissolvido (DIS) foi analisado via SiO_2^- e fósforo inorgânico dissolvido (DIP), avaliado via o PO_4^- . A avaliação das limitações estequiométricas do fitoplâncton foi feita a partir da razão de Redfield, conforme Pavlidou et al.⁶⁶ e Xu et al.⁶⁷. A precisão foi de $\pm 0.02 \mu\text{mol}$ para NO_3^- , $\pm 0.02 \mu\text{mol}$ para NO_2^- , $\pm 0.02 \mu\text{mol}$ para NH_4^+ e $0.01 \mu\text{mol}$ para PO_4^- . A acurácia foi de $\pm 2\%$ para PO_4^- , $\pm 3\%$ para NO_3^- e NO_2^- e $\pm 5\%$ para NH_4^+ .

Clorofila *a* e Produtividade Fitoplanctônica

Para a análise da clorofila *a* total e fracionada, utilizou-se o método espectrofotométrico descritos em UNESCO⁶⁸ e os cálculos seguindo a equação de Parsons e Strickland⁶⁹, expressos em mg m^{-3} .

A produtividade primária foi determinada pelo método do ^{14}C , descrito por Stemann-Nielsen⁷⁰, onde em alíquotas de 120 mL de cada amostra, foi inoculado 1 mL da solução de bicarbonato de sódio ($\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$), de $10 \mu\text{Ci}$ como traçador radioativo, com período de incubação de 4 horas *in situ*, seguido por filtração à vácuo, em filtros com $0.45 \mu\text{m}$ de porosidade

e 47 mm de diâmetro, os resultados foram calculados de acordo com Teixeira⁷¹ e expressos em $\text{mg}_C \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$.

Análises Estatísticas

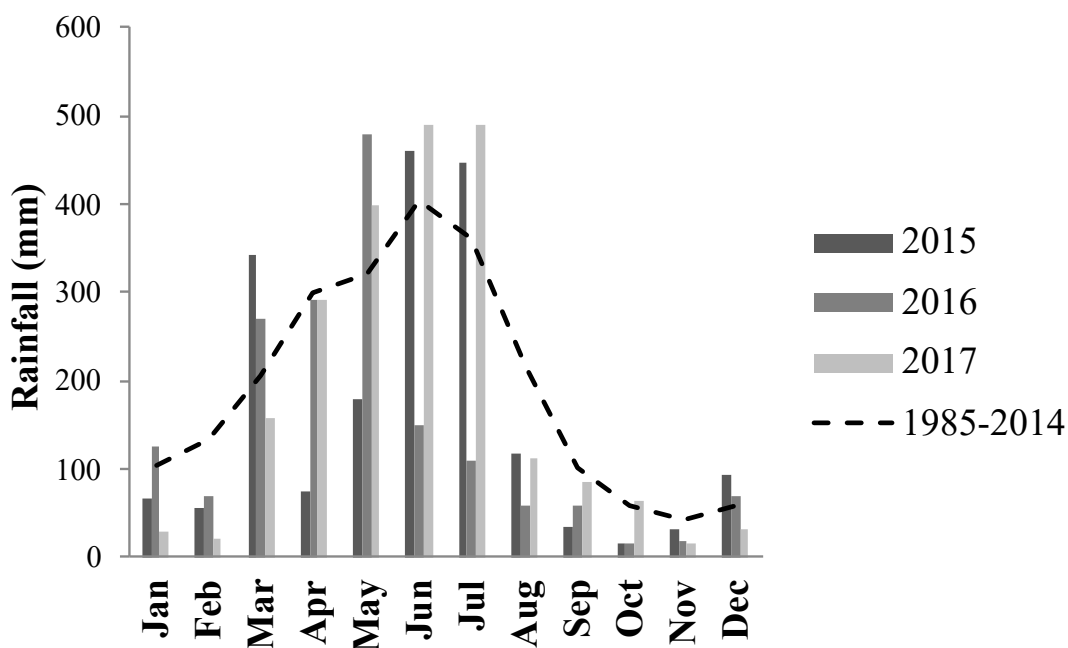
A normalidade e homogeneidade das variáveis foram testadas utilizando os testes Komogorov-Smirnov e Levene, respectivamente. Após a identificação da não normalidade dos dados, utilizaram-se os testes não paramétricos de Mann-Whitney, para verificar as diferenças sazonais (2 amostras) e Kruskal-Wallis para as espaciais (> 3 amostras), sendo considerado significativo $p < 0.05$. Todos os cálculos foram realizados usando o software *Statistic7*[®]. Para a análise multivariada dos parâmetros, utilizou-se a análise de componentes principais (ACP), utilizando-se o programa *XLStat2019*[®].

RESULTADOS

Climatologia e Variáveis Ambientais

A precipitação mensal total variou de 292.4 mm em julho de 2017 a 28.7 mm em janeiro de 2017. O período do estudo não mostrou diferença significativa com os valores históricos (teste de Mann-Whitney; $p = 0.19$; $p = 0.93$, para o período de estiagem e chuvoso, respectivamente; $\alpha = 0.05$) (Tabela 1), embora os meses de amostragem (exceto janeiro de 2016) tenham mostrado precipitação mensal abaixo da média dos últimos 30 anos (1985-2014) (Figura 2).

Figura 2 – Dados da incidência pluviométrica da Estação Experimental do Curado – PE entre os anos de 2015 e 2017 e valores médios históricos mensais (1985 -2014)



Fonte: INMET

A profundidade local variou de 21.0 m no P6 em (julho 2016) a 1.30 m no P3 em (abril 2016). Foi verificada variação significativa espacial (teste de Kruskal-Wallis; $\alpha=0.05$; $p=0.00$). Os pontos internos foram os mais rasos, com exceção para o P4 (posicionado na entrada e saída do porto), enquanto os externos apresentaram as maiores profundidades (Tabela 1).

A transparência da água oscilou de 4.40 m no (P4) a 0.80 m no (P1), ambos em janeiro de 2017. Houve diferença significativa espacial (teste de Kruskal-Wallis; $\alpha=0.05$; $p=0.01$) e sazonal ($p=0.04$), com os valores significativamente inferiores nos pontos internos à linha de recife no período chuvoso (teste de Mann-Whitney; $\alpha=0.05$; $p=0.04$) (Tabela 1).

A concentração de MPS variou de 49.00 mg L^{-1} no P1 (novembro de 2015) a 23.30 mg L^{-1} para o P7 (janeiro de 2017). Houve uma diferença sazonal significativa e os maiores valores de MPS foram registrados durante a estação chuvosa (teste de Mann-Whitney, $\alpha=0.05$; $p=0.01$).

A temperatura da água variou de 29.44 °C para P7 (abril de 2016) a 26.55 °C para P2 (julho de 2016), e a amplitude térmica foi de 2.89 °C. Houve diferença sazonal significativa (teste de Mann-Whitney; $\alpha=0.05$; $p=0.04$), com as menores temperaturas ocorrendo na estação chuvosa (Tabela 1).

A salinidade possui um valor máximo de 37.20 para P6 e P7 (agosto de 2016) e um valor mínimo de 32.15 para P5 (novembro de 2015, janeiro de 2016) e P6 (abril de 2016) (Figura 3 (a)). Houve diferença espacial significativa (teste de Kruskal-Wallis; $\alpha=0.05$; $p=0.02$) e sazonal (teste de Mann-Whitney; $\alpha=0.05$; $p=0.04$), os menores valores de salinidade foram registrados para P5 durante a estação chuvosa (Tabela 1).

O oxigênio dissolvido e a saturação de oxigênio tiveram uma concentração máxima de 5.19 mg L^{-1} e uma taxa máxima de 114.46%, respectivamente, para o P7 (agosto de 2016), bem como uma concentração mínima de 2.60 mg L^{-1} e uma taxa mínima de 58.53%, respectivamente, para o P1 (janeiro de 2016). Houve variação espacial e sazonal significativa na concentração de OD (teste de Kruskal-Wallis; $\alpha=0.05$; $p = 0.00$; teste de Mann-Whitney; $\alpha=0.05$; $p=0.02$, respectivamente) e a taxa de saturação do oxigênio ($p=0.00$; $p=0.03$) (Tabela 1). Ambos os parâmetros apresentaram seus maiores valores em pontos externos à linha de recife e durante a estação chuvosa.

No geral, os compostos nitrogenados (NO_2^- , NO_3^- e NH_4^+) foram baixos. As concentrações de NO_3^- apresentaram os valores mais altos, variando de $4.40 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ a $0.01 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ (Figura 3 (d)), em comparação com as de NH_4^+ e NO_2^- , não houve diferença significativa espacial nem sazonal. As concentrações de NH_4^+ variaram de $0.84 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ a $0.01 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ (Figura 3 (b)), enquanto que as concentrações de NO_2^- variaram de $0.14 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ a $0.01 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ (Figura 3 (c)). As concentrações de ambos apresentaram variação sazonal significativa durante os períodos de estiagem (teste de Mann-Whitney; $\alpha=0.05$; $p=0.01$) e chuvoso (teste de Mann-Whitney; $\alpha=0.05$; $p=0.00$), respectivamente (Tabela 1).

As concentrações de PO_4^- variaram de $0.35 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ (P5) a $0.04 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ (P3) em abril de 2016 (Figura 3 (e)). Houve apenas variação espacial significativa (teste de Kruskal-Wallis; $\alpha=0.05$; $p=0.00$), sendo os maiores valores registrados no P5 (Tabela 1).

O SiO_2^- variou de $24.20 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ para P1 (julho de 2016) a $\text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ para P6 (janeiro de 2016) (Figura 3 (f)). Houve variações espaciais (teste de Kruskal-Wallis; $\alpha=0.05$; $p=0.00$) e sazonais (teste de Mann-Whitney; $\alpha=0.05$; $p=0.02$) (Tabela 1). As maiores concentrações de silicato foram registradas em pontos internos da linha de recife e durante a estação chuvosa.

A relação DIN: DIP variou de 0.13 para P4 (janeiro de 2017) a 28.00 para P1 (julho de 2016), não houve variação espacial (teste de Kruskal-Wallis; $\alpha = 0.05$; $p = 0.08$) ou sazonal

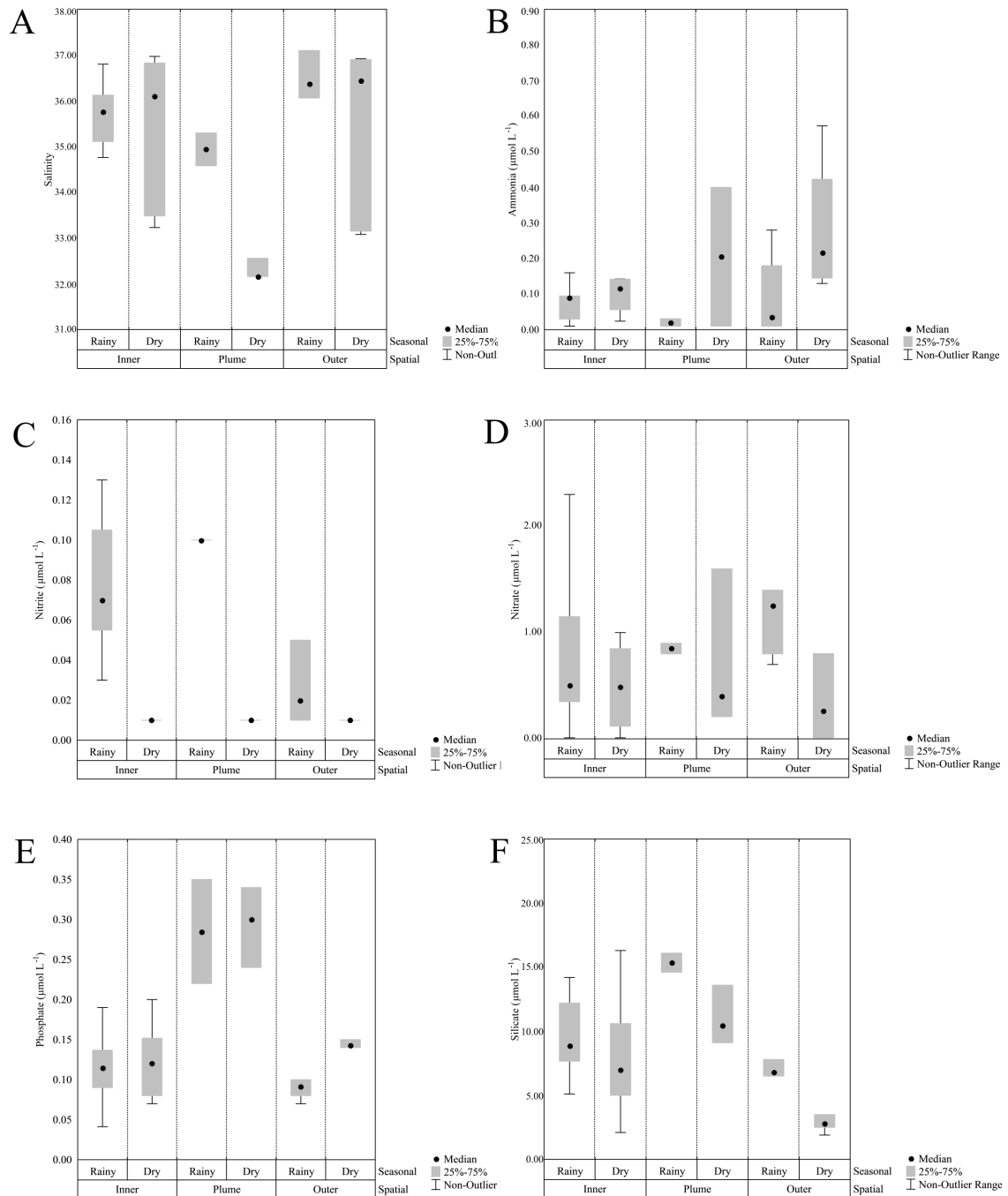
(teste de Mann-Whitney; $\alpha=0.05$; $p=0.10$). A relação DIN: DIS variou de 0.00 para P6 (janeiro de 2017) a 0.86 para P7 (janeiro de 2016), não houve variação espacial (teste de Kruskal-Wallis; $\alpha=0.05$; $p=0.21$) ou sazonal (teste de Mann-Whitney; $\alpha=0.05$; $p=0.30$). A relação DIS: DIP variou de 13.18 para P6 (novembro de 2015) a 268.88 para P1 (julho de 2016), houve variações espaciais (teste de Kruskal-Wallis; $\alpha=0.05$; $p=0.01$) e sazonais (teste de Mann-Whitney; $\alpha=0.05$; $p=0.00$) (Tabela 1). Assim, o nitrogênio foi o elemento limitante, independentemente das variações espaciais (internas e externas) e sazonais.

Tabela 1 – Variáveis abióticas e biológicas nos períodos chuvoso e de estiagem (Min = mínimo, Máx = máximo, Med = mediana e DP = desvio padrão) e os testes não paramétricos (MW = Mann-Whitney; KW = Kruskal-Wallis) com valores de p para os vários tratamentos (sazonal e espacial) * p < 0.05 (SPM = material particulado em suspensão; Clo *a* = clorofila *a* total; Clo *a* < 20 µm = clorofila *a* fracionada)

Variáveis	Período Chuvoso					Período de Estiagem					KW	
	Máx.	Mín.	Med.	±SD		Máx.	Mín.	Med.	±SD		Espacial	Sazonal
Pluviometria 2015 - 2017 (mm)	292.4	57.50	110.30	123.24		124.00	28.70	30.6	54.48		-	0.19
Pluviometria 1985 - 2014 (mm)	657.30	46.80	352.05	431.68		276.40	8.70	142.55	189.29		-	0.93
Profundidade (m)	21.00	1.30	10.40	6.04		17.40	1.50	10.00	5.45		0.00*	0.10
Transparência (m)	3.00	1.30	1.50	0.66		4.40	0.80	2.05	0.91		0.01*	0.04*
MPS (µmol L ⁻¹)	47.00	28.40	36.03	4.45		49.00	23.30	31.60	6.28		0.54	0.01*
Temperatura (°C)	29.44	26.55	26.90	1.23		29.03	28.12	28.54	0.25		0.65	0.04*
Salinidade	37.20	32.16	36.00	1.10		37.04	32.15	35.71	1.89		0.02*	0.04*
Oxigênio Dissolvido (mL L ⁻¹)	5.19	3.45	4.40	0.53		4.74	2.60	4.01	0.56		0.00*	0.02*
Taxa de Saturação do Oxigênio (%)	114.46	76.81	97.43	11.58		106.69	58.53	90.52	12.66		0.00*	0.03*
Nitrito (µmol L ⁻¹)	0.14	0.01	0.07	0.04		0.06	0.01	0.01	0.01		0.72	0.00*
Nitrato (µmol L ⁻¹)	2.40	0.01	0.80	0.62		4.40	0.01	0.38	0.97		0.85	0.05
Amônia (µmol L ⁻¹)	0.28	0.01	0.06	0.07		0.84	0.01	0.14	0.23		0.94	0.01*
Fosfato (µmol L ⁻¹)	0.35	0.04	0.11	0.06		0.34	0.06	0.14	0.07		0.00*	0.29
Silicato (µmol L ⁻¹)	24.20	3.60	8.35	4.79		16.30	1.90	6.30	4.37		0.00*	0.02*
DIN:DIP	28.00	0.73	10.10	7.43		22.30	0.13	6.69	6.35		0.08	0.10
DIN:DIS	0.25	0.02	0.12	0.07		0.86	0.00	0.17	0.22		0.21	0.30
DIS:DIP	268.88	37.00	94.39	64.53		142.85	13.18	51.70	35.46		0.01*	0.00*
Clo <i>a</i> (mg m ⁻³)	1.20	0.14	0.41	0.24		2.45	0.02	0.55	0.68		0.90	0.71
Clo <i>a</i> < 20µm (mg m ⁻³)	1.13	0.02	0.16	0.28		2.17	0.02	0.53	0.59		0.33	0.30
Produtividade Fitoplanctônica (mgC m ⁻³ ha ⁻¹)	3.53	0.58	1.78	1.00		4.32	0.34	2.46	1.16		0.56	0.40
Taxa de Assimilação	15.36	1.32	5.45	3.66		23.93	1.14	2.71	6.55		0.90	0.65

Fonte: Laisa Madureira

Figura 3 – Variação sazonal e espacial das variáveis abióticas: salinidade (A), amônia (B), nitrito (C), nitrato (D), fosfato (E), silicato (F), durante o período de estudo na região portuária de Suape, Pernambuco, Brasil



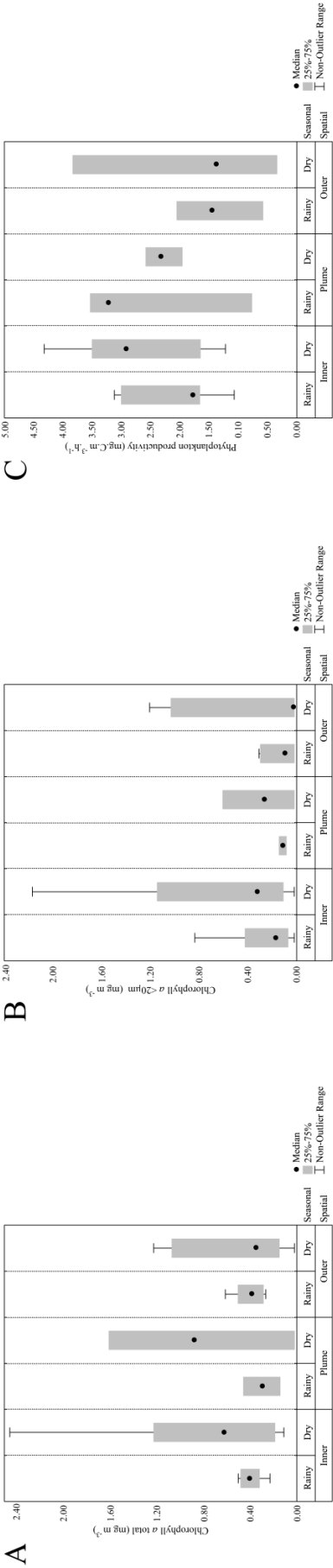
Clorofila *a* e Produtividade Fitoplanctônica

As concentrações de clorofila *a* total variaram de 0.02 mg m^{-3} para P5 e P6 (janeiro de 2017) a 2.45 mg m^{-3} para P3 (novembro de 2015) (Figura 4 (a)), enquanto que a clorofila

a fracionada variou de 0.02 mg m^{-3} (por vários meses e pontos amostrados) a 2.17 mg m^{-3} para P3 (novembro de 2015) (Figura 4 (b)). Não houve variações estatisticamente significativas nas concentrações de clorofila *a* total e fracionada (sazonal; teste de Mann-Whitney; $\alpha=0.05$; $p=0.71$; espacial; teste de Kruskal-Wallis; $\alpha=0.05$; $p=0.90$; Tabela 1), embora eles tenham sido um pouco mais altos no período de estiagem do que o chuvoso e nos pontos mais internos do porto, em comparação com os externos. A fração do fitoplâncton $<20 \mu\text{m}$, correspondente ao pico e ao nanofitoplâncton, contribuiu com 88.57% da biomassa fitoplanctônica.

A produtividade primária variou de $0.34 \text{ mg}_C \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$ para P7 (janeiro de 2017) a $4.32 \text{ mg}_C \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$ para P3 (novembro de 2015), o valor mediano foi de $2.01 \text{ mg}_C \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$ (Figura 4 (c)). A taxa de assimilação do fitoplâncton variou de $1.14 \text{ mg}_C \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$ para P7 (janeiro de 2017) a $23.93 \text{ mg}_C \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$ para P3 (novembro de 2015), o valor mediano foi de $4.99 \text{ mg}_C \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$. Não houve variação significativa em nenhum dos parâmetros, embora apresentassem padrão semelhante ao da clorofila *a* (Tabela 1).

Figura 4 – Variação sazonal e espacial das variáveis biológicas: clorofila *a* total (A), clorofila *a* <20 µm (B) e produtividade primária (C), durante o período de estudo na região portuária de Suape, Pernambuco, Brasil



Análises Estatísticas

Segundo a ACP, os dois componentes explicaram 52.32% da variação de dados (Figura 5). Para o primeiro componente, 28.66% da variância foi diretamente correlacionada com clorofila *a* total, clorofila *a* <20 μm , produtividade primária e temperatura, indicando que o aumento da temperatura no período de estiagem promoveu uma elevação no metabolismo de organismos fitoplanctônicos. Para o segundo componente (23.66%), o oxigênio dissolvido apresentou correlação direta com a salinidade e inversa com o silicato, indicando que na área externa ao porto de Suape, a hidrodinâmica mantém a água mais oxigenada (Tabela 2).

Figura 5 – Análise de Componentes Principais (APC) das variáveis abióticas e biológicas da região portuária de Suape, Pernambuco, Brasil. Analisado para os dois componentes principais. Legendas: CHL T = Clorofila *a* total; CHL F = clorofila *a* <20 μm ; DIN = amônia + nitrito + nitrato; DO = Oxigênio Dissolvido; PO₄ = fosfato; PP = produtividade primária; SIO₂ = Silicato; TEMP = Temperatura

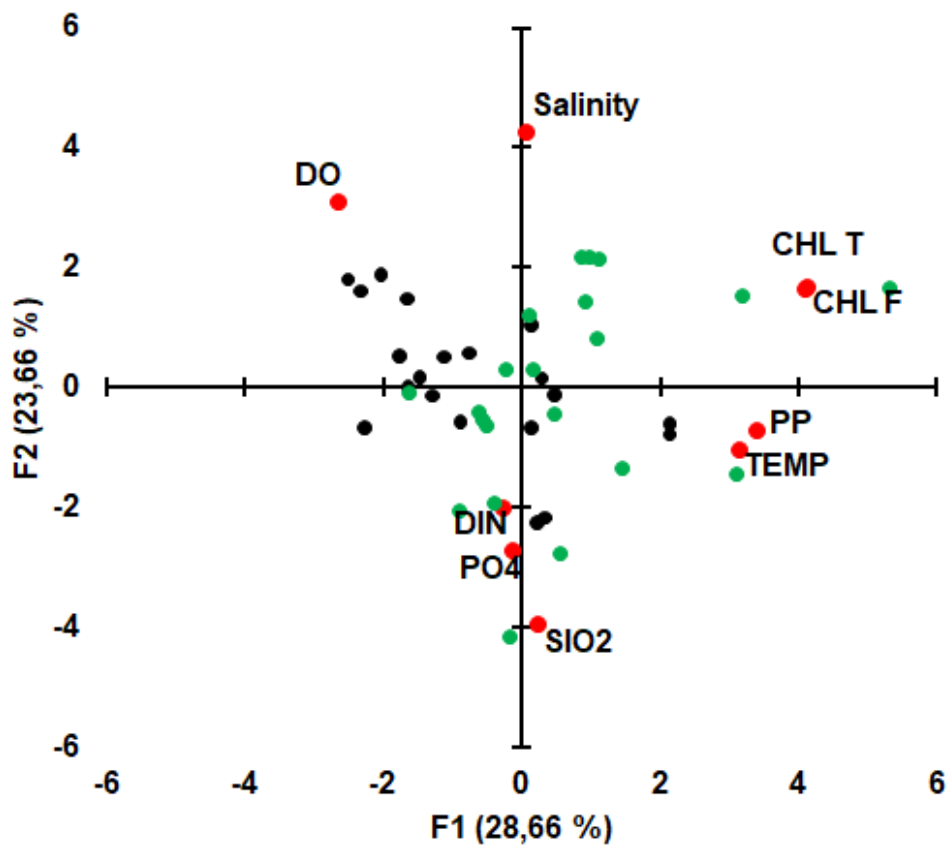


Tabela 2 – Análise de correlação com carga fatorial das variáveis (DO = oxigênio dissolvido; TEMP = temperatura; SAL = salinidade; PO4 = fosfato; SIO2 = silicato; CLORO T = clorofila *a* total; CLORO F = clorofila *a* <20 µm; PP = Produtividade primária; DIN = amônia + nitrito + nitrato. Os valores em negrito indicam fatores de carga significativos

	F1	F2	F3	F4
OD	-0.541	0.572	-0.150	0.418
TEMP	0.638	-0.194	-0.496	-0.303
SAL	0.012	0.790	0.493	-0.024
PO4	-0.025	-0.505	-0.366	0.695
SIO2	0.048	-0.734	0.445	0.164
CLORO T	0.841	0.312	0.035	0.365
CLORO F	0.832	0.305	0.099	0.328
PP	0.690	-0.130	0.182	-0.208
DIN	-0.053	-0.371	0.743	0.132

DISCUSSÃO

A incidência de chuvas está entre os principais fatores responsáveis pela modulação e condicionamento das mudanças nos parâmetros hidrológicos e geomorfológicos de estuários e outros ecossistemas costeiros⁵⁰.

O índice pluviométrico registrado na zona costeira de Suape, durante os meses de amostragem (exceto janeiro de 2016) esteve abaixo da média histórica dos últimos 30 anos (1985 a 2014). Embora a precipitação tenha sido menor do que o esperado foi suficiente para aumentar as concentrações de nitrito, silicato e MPS bem como diminuir a temperatura da água e a transparência na área do CIPS.

Dadas às alterações morfológicas relevantes que ocorreram na área, a intrusão de água salgada também foi um fator determinante para influenciar alguns parâmetros hidrológicos. Entre eles, o aumento na salinidade, diluição de sais nutrientes e consequentemente, uma diminuição nas concentrações de clorofila *a* e na produtividade primária. Estudos realizados no passado relataram que mudanças na dinâmica costeira na área portuária de Suape afetaram os nutrientes e a biomassa algal³⁹, bem como a composição do fitoplâncton⁷ e zooplâncton²².

A transparência da água nos ecossistemas estuarinos pode variar dependendo da intensidade e duração das chuvas. Essa transparência segue um gradiente crescente em direção a região do ecossistema com maior influência marinha, além de ser um fator limitante para o desenvolvimento de organismos fitoplanctônicos⁷².

Em Suape, a transparência da água seguiu o padrão espacial e sazonal dos ambientes estuarinos, pois as águas eram menos transparentes no interior do porto, devido ao aumento da concentração do material alóctone que chega à região durante a estação chuvosa. Essas tendências na transparência da água e no material particulado foram relatadas em outros estuários do estado de Pernambuco por Honorato da Silva⁷³ no estuário do rio Sirinhaém, por Bastos et al.⁷⁴ na zona costeira de Ipojuca e por Ostuka et al.⁷⁵ no ecossistema estuarino de Barra das Jangadas.

A temperatura da água sempre foi alta e apresentou baixa amplitude térmica, os menores valores foram registrados durante a estação chuvosa. Vale ressaltar que essas baixas variações térmicas ocorreram gradualmente ao longo dos meses, o que permitiu que os organismos planctônicos se adaptassem a novas condições⁷⁶.

Baixa amplitude térmica e diferenças sazonais também foram relatadas em outras regiões costeiras do estado de Pernambuco, como na porção interna do Porto de Suape⁴¹, na praia de Porto de Galinhas⁷⁷ e no estuário do rio Maracaípe⁷⁴. Os estudos mencionados associaram esse padrão à renovação eficiente da água, resultante de ações de maré.

A salinidade é outro parâmetro importante para a zona costeira, sua dinâmica é controlada pelo influxo de água doce dos rios, pelas marés e por fatores meteorológicos e geomorfológicos. Além disso, a salinidade é capaz de influenciar fortemente a distribuição e sucessão de espécies fitoplanctônicas⁷⁸.

De acordo com dados anteriores registrados por²⁸, o ecossistema local era dividido em três áreas antes da implementação do CIPS: a primeira área abrangendo a Baía de Suape e variando de euhalino a polihalino; a segunda área compreendia os rios Massangana e Tatuoca e foi caracterizada como uma zona estuarina com salinidade variando de polihalino a mesohalino; e a terceira área, o estuário do rio Ipojuca, com salinidade variando de polihalino a limnética.

A abertura realizada no recife, que permitiu o acesso ao porto interno e a perda de comunicação entre os rios Ipojuca e Merepe, provocaram mudanças no atual regime de salinidade na Baía de Suape e na foz do rio Massangana para a euhalino, fato também relatado por Reis et al.⁵⁵; Borges³⁸ e Santos Júnior e Flores Montes⁷⁹. De acordo com Silva et al.²², antes da construção do porto, a Baía de Suape possuía uma comunidade zooplancônica tipicamente estuarina, que foi substituída por um grupo de copépodes de água costeira, representando quase 73% da abundância total.

Diferente do que se esperava, o menor valor de salinidade foi registrado na porção externa do porto (P5 e P6), possivelmente influenciada pela água menos salina vinda dos rios Ipojuca e Merepe. Vale ressaltar que devido as modificações na dinâmica e morfologia costeiras citadas anteriormente, Neumann-Leitão et al.⁶¹ e Koenig et al.⁷, constataram um retardo de mais de 2 horas na dinâmica da maré na foz dos estuários Ipojuca e Merepe, alterando o regime que atualmente oscila entre polihalino a euhalino. Segundo Koenig et al.⁷ o aumento da salinidade resultou numa elevação considerável no número de espécies de dinoflagelados marinhos no estuário inferior do rio Ipojuca, passando de 3.33% para 27.41%.

O oxigênio é um dos gases mais importantes na dinâmica dos ambientes aquáticos, sua concentração varia em função dos processos bioquímicos e biológicos como respiração, oxidação da matéria orgânica e processos metabólicos celulares indispensáveis para a vida vegetal e animal, além de ser é um importante indicador da qualidade de corpos hídricos⁸⁰.

Com base no sistema de classificação desenvolvido por Macêdo e Costa⁸¹, a taxa de saturação de oxigênio nas águas adjacentes ao CIPS variou de saturado a supersaturado, indicando que esse ambiente recebe baixas contribuições orgânicas e quantidades substanciais de água do mar. Corroborando com os resultados encontrados por Mafalda et al.⁸² no litoral norte do estado da Bahia, por Feitosa e Bastos⁸³ em Maracajaú (RN) e por Machado et al.⁷⁷ em Porto de Galinhas.

Nutrientes como nitrogênio e fósforo desempenham papel fundamental em ambientes aquáticos, pois juntamente com a luz, são os principais fatores limitantes da produção primária e consequentemente afetam toda a teia trófica⁴⁹. As concentrações de compostos nitrogenados foram particularmente baixas em Suape, o nitrogênio foi o elemento que limitou o desenvolvimento de organismos fitoplanctônicos.

O nitrito apresentou as menores concentrações, seguidas por amônia e nitrato. Machado et al.⁷⁷ em Porto de Galinhas e Jales et al.⁸⁴ em Serrambi, registraram valores de nitrito (0.01 - 0.17 $\mu\text{mol L}^{-1}$ e ND - 0.13 $\mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente) bem próximos aos encontrados no referido trabalho. Os autores associaram esses resultados à boa qualidade ambiental dos ecossistemas investigados.

A amônia apresentou variação sazonal significativa, os maiores valores foram registrados durante a estação seca, quando houve menor diluição da matéria orgânica. O P1 apresentou a

maior concentração espacial de NH_4^+ , provavelmente devido à influência do córrego Barbosa, que atravessa uma vila e desemboca pouco antes da foz do rio Massangana. Entre as formas de nitrogênio orgânico dissolvido, a NH_4^+ é preferido pelos organismos fitoplanctônicos, que o consomem rapidamente, reduzindo assim seus níveis nos ecossistemas aquáticos.

O valor máximo de nitrato registrado no presente estudo foi de $4.40 \mu\text{mol L}^{-1}$, diferente do observado por Koenig et al.⁷ no estuário do rio Ipojuca. A legislação ambiental brasileira⁸⁵ indica um valor limite de 0.4 mg L^{-1} ($23.5 \mu\text{mol L}^{-1}$).

O fosfato apresentou apenas variação espacial, as maiores concentrações foram encontradas para o P5 e possivelmente foram influenciadas pelos rios Ipojuca e Merepe. Os valores aqui observados foram próximos aos especificados na resolução ambiental brasileira⁸⁵.

De acordo com Otsuka et al.⁷⁵, as maiores concentrações de PO_4^- foram encontradas na plataforma continental do estado de Pernambuco, fortemente influenciada pelo rio Jaboatão. Por outro lado, Ressureição et al.⁸⁶ mostraram que as plumas dos rios Capibaribe e Beberibe contribuíram para o ambiente costeiro, aumentando os sais de nutrientes e o teor de clorofila *a* na água do mar circundante.

O silicato apresentou as maiores concentrações nas águas adjacentes ao CIPS, em comparação com as concentrações de outros nutrientes inorgânicos, no entanto, por se tratar de uma região estuarina, os valores foram considerados baixos, podendo ser explicado pelo reduzido transporte dos rios Massangana e Tatuoca (tipo litorâneos, de planícies e com pequenas bacias hidrográficas), além da perda da contribuição do rio Ipojuca.

Com relação à variação espaço-temporal, o silicato apresentou maiores concentrações nos pontos internos ao porto e no período chuvoso. O mesmo padrão foi encontrado no ambiente estuarino do rio Ariquindá⁸⁷ e no estuário do rio Timbó⁸⁸, explicado pelo aumento das contribuições continentais e influenciado pela incidência de chuvas.

O fitoplâncton encontrado em regiões costeiras tropicais é suscetível a mudanças ambientais, às quais respondem rapidamente devido ao seu curto ciclo de vida⁵⁰. Consequentemente, são utilizados globalmente como bioindicadores da qualidade da água e do status trófico, além de serem ferramentas valiosas para o gerenciamento ambiental das zonas costeiras⁷⁶.

Em Suape, a concentração de clorofila *a* e a produtividade do fitoplâncton foram moderadamente maiores nos pontos internos do porto durante o período de estiagem, o que corres-

pondeu a aumentos na camada fótica, concentração de NH_4^+ e temperatura da água. De acordo com Behrenfeld et al.³, o aumento da temperatura da água desempenha um papel fundamental na alteração das taxas de respiração fotossintética e de microalgas.

O padrão espaço-temporal de clorofila observado no presente estudo também foi observado por Losada et al.⁸⁹ na zona estuarina dos rios Ilhetas e Mamucabas, Azevedo et al.⁹⁰ no Golfão Maranhense (Maranhão, Brasil) e por Otsuka et al.⁷⁵ no estuário de Barras das Jangadas. Esses autores atribuíram o resultado observado a um aumento nas concentrações de material em suspensão e uma diminuição na camada fótica. Esses fenômenos geralmente ocorrem durante a estação chuvosa, quando a luz é um fator limitante para o desenvolvimento do fitoplâncton.

A clorofila *a* <20 μm foi a que mais contribuiu para a biomassa fitoplanctônica do sistema (88.57%). Resultado semelhante foi observado por Cordeiro et al.⁴¹ na Baía de Suape e por Grego et al.⁸⁷ na zona estuarina do rio Ariquindá. Esses resultados podem ser explicados pela melhor eficiência fotossintética dessa fração da população fitoplanctônica em regiões que enfrentam escassez de nutrientes e variabilidade de parâmetros hidrológicos, bem como pela capacidade dessa fração de tolerar variações nas condições ambientais.

Com base na classificação de Vollenweider e Kerekes⁹¹, as águas adjacentes ao CIPS foram típicas de ambientes oligotróficos.

Outros pesquisadores também observaram baixos níveis de clorofila *a* (valores <6.00 mg m^{-3}) ao longo da costa brasileira, entre os quais: Mafalda et al.⁸² na Baía de Todos os Santos, costa norte do estado da Bahia, Sousa et al.⁹² na península de Bragantina (Pará, Brasil) e Costa et al.⁹³ no estuário do rio Paraíba do Sul (estado do Rio de Janeiro, Brasil).

Resultados opostos foram registrados por Noriega et al.⁹⁴ no estuário do rio Jaboatão, Otsuka et al.⁹⁵ na região portuária de Recife e por Santos et al.⁹⁶ na bacia do Pina (valores >100 mg m^{-3}). De acordo com os autores mencionados, esses valores indicaram forte eutrofização, influenciada principalmente por efluentes domésticos e industriais não tratados, que são liberados nesses ecossistemas.

Com relação à produtividade primária e considerando a classificação de Tundisi e Tundisi⁹⁷, é possível afirmar que os valores registrados em Suape eram típicos de ambientes costeiros não poluídos, fato confirmado pelas baixas concentrações dos sais nutrientes e clorofila *a* presentes no ambiente.

Os baixos valores de produtividade fitoplanctônica observados no presente estudo foram semelhantes aos registrados por Moura⁹⁸ na Baía de Tamandaré, por Passavante e Feitosa⁹⁹ em um perfil perpendicular ao litoral na praia de Piedade, por Feitosa e Bastos⁸³ em Maracajaú (Rio Grande do Norte, Brasil) e por Machado et al.⁷⁷ nos ambientes de recifes de Porto de Galinhas. Por outro lado, os presentes resultados diferem dos altos níveis de produtividade primária observados por Feitosa e Passavante¹⁰⁰ na Bacia do Pina, Honorato da Silva⁷³ à montante do rio Sirinhaém e por Grego et al.⁸⁸ no estuário do rio Timbó, que são ecossistemas altamente eutróficos.

A taxa de assimilação do fitoplâncton corresponde à razão entre produtividade e valores de clorofila *a*. Com base em Vollenweider et al.¹⁰¹ é possível dizer que as águas adjacentes ao CIPS foram mesotrófica, porém, com forte tendência a oligotrofia.

Ao comparar dados anteriores com os atuais, percebe-se que houve uma perda significativa da eficiência da produção de fitoplâncton no sistema estuarino de Suape. Antes da implementação do CIPS, a densidade total de fitoplâncton no estuário do rio Ipojuca variava de 416.00 a 5748.00 cel L⁻¹³⁵. Após a sua implementação, a densidade celular diminuiu 70%⁷. Com relação ao zooplâncton, Neumann-Leitão e Tundisi¹⁰² indicou uma diminuição expressa do biovolume celular em comparação com o registrado antes do empreendimento¹⁰³.

Bezerra Júnior et al.²⁶, relataram uma diminuição significativa no número de famílias e espécies de ictioplâncton em comparação com informações anteriores registradas por Vasconcelos et al.²⁴. Destaca-se, que antes da construção do porto, a Baía de Suape era considerada um dos maiores berçários e centro distribuidor de larvas de peixes da região costeira de Pernambuco¹⁰⁴.

A diminuição dos recursos pesqueiros do local causou graves danos ecológicos. As espécies de tubarões que usam o complexo estuarino de Suape como fonte de alimento e proteção, tem se deslocado em direção a áreas costeiras adjacentes altamente urbanizadas, causando graves acidentes com humanos^{57,58}.

CONCLUSÃO

Diante do que foi mencionado, é possível concluir que a diminuição dos índices pluviométricos e as constantes mudanças na morfologia e dinâmica costeira do ecossistema estuarino

investigado, foram as forçantes que mais afetaram os parâmetros ambientais analisados. A perda da contribuição rio Ipojuca e a forte intrusão marinha ocasionaram uma mudança no regime de salinidade da Baía de Suape, (registrando atualmente o regime euhalino), diluição dos nutrientes e redução na produtividade primária. O pico e o nanoplâncton foram a fração que mais contribuíram com o sistema, correspondendo a 88.57%, refletindo os baixos teores de nutrientes e indicando que a área está livre do processo de eutrofização. Entretanto, a queda da fertilidade das águas adjacentes ao CIPS, vem causando reflexos negativos nos demais elos da teia trófica.

3 DINÂMICA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA EM UMA ÁREA INDUSTRIAL E PORTUÁRIA (SUAPE, PERNAMBUCO, BRASIL)

ABSTRACT

The present work aimed to investigate the effect of anthropic actions, climate change and tidal action on the dynamics of the phytoplankton community in the waters adjacent to Suape Industrial and Port Complex. The collections were carried out during the dry season (November / 15, January / 16 and January / 2017) and during the rainy season (April, July and August / 16) at low and high tide, during the spring tide. Canonical Correspondence Analysis showed the two seasonal periods, where the diatoms (*Bacillaria paxillifera* (O.F.Müller) T.Marsson, *Pseudo-nitzschia pungens* (Grunow ex Cleve) Hasle and *Conscinodiscus* sp.) Were directly correlated to nitrite, silicate and MPS. And in the dry period, dinoflagellates (*Protoperidinium* spp.) were positively related to salinity and temperature. The density, biovolume and carbon biomass of diatoms and cyanobacteria increased in the rainy and dinoflagellate months in the driest, especially *Gymnodinium* sp. 127 taxa were identified, among which the phylum Bacillariophyta was best represented with 95 species (74.8% of flora), followed by Miozoa with 19 taxa (14.17%), Cyanobacteria with 9 taxa (7.08%), Chlorophyta with 3. taxa (2.36%) and Euglenozoa with 1 rate (0.78%), revealing the high diversity of the area. The species *Bacillaria paxillifera*, *Oscillatora* sp., *Gymnodinium* sp., *Protoperidinium* sp.5 and *Pseudo-nitzschia pungens* were the most representative. Regarding the ecological aspect, 55.91% of the taxa were marine planktonic, 32.25% neritic ticoplanktonic, 6.35% freshwater and 5.37% estuarine. The strong anthropogenic action that occurred in and around Suape Bay caused a greater marine intrusion in the system, with dilution of inorganic nutrients, decrease in biomass, phytoplankton density and productivity, increasing the participation of marine species, mainly dinoflagellates, which are better able to develop in oligotrophic environments.

Keywords: Port Activity, Carbon Biomass, Phytoplankton, Hydrology.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo, investigar o efeito das ações antrópicas, mudanças climáticas e ação da maré, sobre a dinâmica da comunidade fitoplanctônica, nas águas adjacentes ao Complexo Industrial e Portuário de Suape. As coletas foram realizadas no período de estiagem (novembro/15, janeiro/16 e janeiro/2017) e no chuvoso (abril, julho e agosto/16) em baixa-mar e preamar, durante a maré de sizígia. A Análise de Correspondência Canônica evidenciou os dois períodos sazonais, onde as diatomáceas (*Bacillaria paxillifera* (O.F.Müller) T.Marsson, *Pseudo-nitzschia pungens* (Grunow ex Cleve) Hasle e *Conscinodiscus* sp.) estiveram diretamente correlacionadas ao nitrito, silicato e MPS. E no período seco, os dinoflagelados (*Protoperidinium* spp.) relacionaram-se positivamente com a salinidade e temperatura. A densidade, o biovolume e a biomassa em carbono das diatomáceas e cianobactérias elevaram-se nos meses chuvosos e dinoflagelados nos mais secos, com destaque para espécie *Gymnodinium* sp. Foram identificados 127 táxons, dentre os quais, o filo Bacillariophyta, esteve mais bem representado com 95 espécies (74.8% da flora), seguido pelo Miozoa com 19 táxons (14.17%), Cyanobacteria com 9 táxons (7.08%), Chlorophyta com 3 táxons (2.36%) e Euglenozoa com 1 taxa (0.78%), revelando a alta diversidade da área. As espécies *Bacillaria paxillifera*, *Oscillatora* sp., *Gymnodinium* sp., *Protoperidinium* sp.5 e *Pseudo-nitzschia pungens* foram as mais representativas. Quanto ao aspecto ecológico, 55.91% dos táxons foram planctônicos marinhos, 32.25% ticoplanctônicos neríticos, 6.35% dulcícolas e 5.37% estuarinas. A forte ação antrópica, ocorrida na Baía de Suape e adjacências provocou uma maior intrusão marinha no sistema, com diluição dos nutrientes inorgânicos, queda na biomassa, densidade e produtividade fitoplanctônica, aumentando a participação de espécies marinhas, principalmente dos dinoflagelados, que estão mais aptos a se desenvolverem em ambientes oligotróficos.

Palavras-chave: Atividade Portuária, Biomassa em Carbono, Fitoplâncton, Hidrologia.

INTRODUÇÃO

A região costeira representa uma importante zona de transição entre o continente e o oceano e está sobre forte influência das mudanças climáticas, características geomorfológicas, drenagem continental, ação dos ventos e das marés ou da atuação conjunta desses fatores¹⁰⁵,

estes afetam as variáveis ambientais e a dinâmica da comunidade fitoplanctônica em um curto espaço de tempo^{106,107}.

As microalgas respondem rapidamente as alterações ambientais, sendo mundialmente usadas como bioindicadoras da qualidade da água^{108,5}. Além disso, são ecologicamente importantes, por serem as responsáveis por quase 50% da produção primária líquida global e a principal fonte de energia para os ecossistemas aquáticos¹⁰⁹, pois delas dependem os demais níveis tróficos¹¹⁰.

Nos sistemas estuarinos, o crescimento da flora planctônica é controlado pelo input de nutrientes inorgânicos e carbono orgânico, derivados da contribuição terrestre e marinha¹¹¹. Apesar da grande influência dos nutrientes sobre a produtividade fitoplanctônica, as altas concentrações de material particulado em suspensão que chegam à região, podem reduzir a transparência da coluna d'água e a disponibilidade de luz, limitando a capacidade fotossintética das microalgas¹¹².

As variações de salinidade, associadas à ação das marés, também pode ser considerado um fator determinante para distribuição espacial, definição dos padrões ecológicos e estrutura da comunidade fitoplanctônica, uma vez que, essa variável é considerada uma barreira ecológica, para o desenvolvimento de espécies adaptadas a viver em massas d'água mais ou menos salinas¹¹³.

Além desses fatores, os impactos antrópicos, também têm contribuído para provocar alterações no fitoplâncton⁹. As modificações a que estão submetidos os ecossistemas costeiros, afetam diretamente a fisiologia, a biomassa e a dinâmica da flora planctônica¹¹⁴.

Entre as atividades humanas, uma das mais negativas e que trazem severos danos aos sistemas estuarinos, é a instalação e ampliação de portos. As áreas portuárias são ameaçadas pelo uso indiscriminado do estuário e das regiões terrestres adjacentes, consequentemente apresenta uma série de problemas ambientais, como por exemplo: a degradação de habitats naturais, redução da vegetação e populações de animais, diminuição da pesca e o comprometimento da qualidade da água¹².

Com o objetivo de solucionar um problema econômico, enfrentado pelo estado de Pernambuco, foi instalado entre os anos de 1978 e 1984, um complexo industrial e portuário na área estuarina de Suape, localizada ao sul da cidade do Recife, com funções comerciais e industriais.

Este empreendimento tem sido vital para o desenvolvimento da economia regional, sendo referência nacional por atrair investimentos e contribuir com Produto Interno Bruto (PIB), que cresce acima da média nacional¹⁵. Em contrapartida, desde a sua instalação, a região vem passando por expressivas alterações morfológicas, sedimentológicas e hidrológicas provocadas pelas intensas atividades humanas que atuam no local.^{61,37}.

Diante disso, o principal objetivo do presente trabalho foi avaliar de que forma a variabilidade climática, espacialidade, movimento da maré e as alterações antópicas, ocasionadas pela construção e expansão do Complexo Industrial e Portuário de Suape, afetaram a dinâmica da comunidade fitoplanctônica e as variáveis abióticas presentes do local.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo e Protocolo de Amostragem

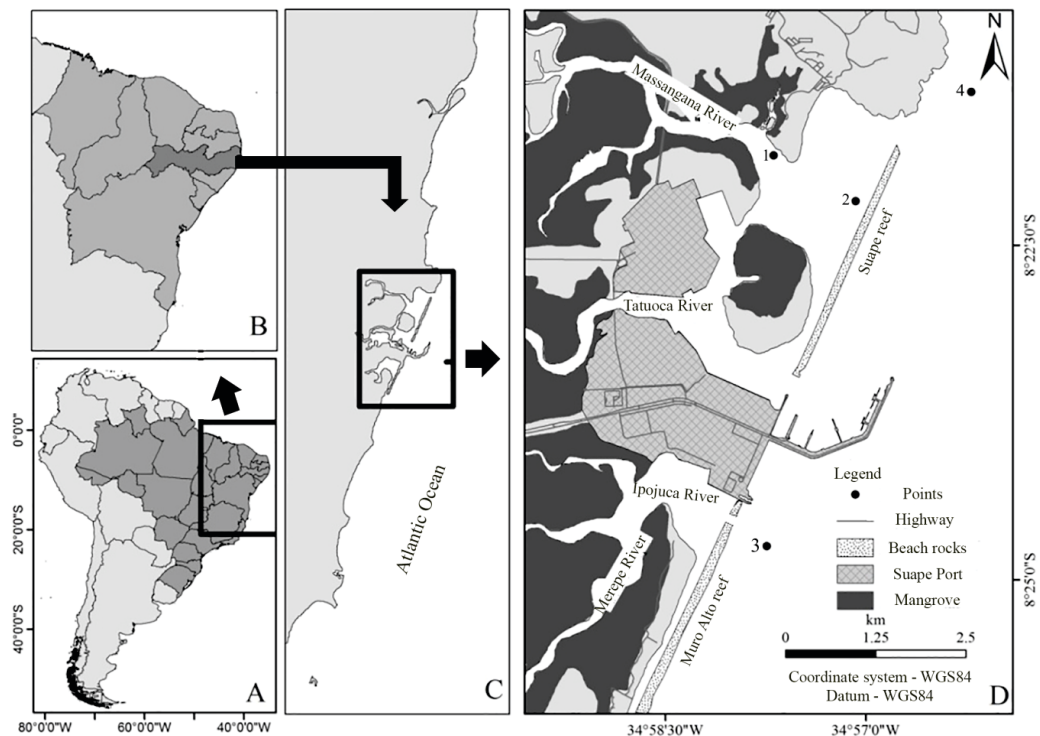
O Complexo Industrial e Portuário de Suape (CIPS), está situado entre os municípios do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, no litoral sul do estado de Pernambuco, sob as coordenadas geográficas 8°23'45" S e 34°58'4" W e atualmente ocupa uma área com cerca de 13 500 ha (Figura 1).

O clima da referida área é quente e úmido, pseudo-tropical do tipo As', possui média anual de chuvas variando de 1850 a 2364 mm, concentradas de março a agosto, temperatura do ar de 24°C, umidade acima de 80% e predominância de ventos de sudeste⁶⁰.

Do ponto de vista oceanográfico, o regime de maré na região caracteriza-se pelo tipo semi-diurna, com amplitude de aproximadamente 3 m³⁹.

Antes da implantação do porto, diversos ecossistemas em excelentes estados de conservação, eram encontrados na zona costeira de Suape, entre eles as florestas de manguezais, praias arenosas, banco de algas e os recifes de arenito. Segundo os estudos realizados por Melo Filho¹⁶; Lima e Costa¹⁸; Cavalcanti et al.²⁷; Ramos-Porto e Lima¹¹⁵; Eskinazi-Leça e Koenig³⁴ e Neumann-Leitão et al.²⁰, este sistemas revelavam-se altamente produtivos e equilibrados.

Figura 1 – Localização dos pontos de amostragem nas adjacências do Complexo Portuário e Industrial de Suape, Pernambuco, Brasil. Fonte: produzido pelos autores, 2016



Porém, após a construção do CIPS, algumas pesquisas têm relatado fortes alterações ambientais, tais como: desmatamento e alagamento das florestas de manguezais¹⁹, mudanças nos padrões hidrodinâmicos¹¹⁶, modificações estruturais na comunidade zooplancônica²², diminuição da biodiversidade do ictioplâncton²⁶ e redução na densidade do fitoplâncton³⁷.

As coletas foram realizadas no período de estiagem (novembro / 15, janeiro / 16 e janeiro / 2017) e no chuvoso (abril, julho e agosto / 16) em baixa-mar e preamar, durante a maré de sizígia.

As amostragens foram realizadas à jusante do estuário do Rio Massangana (P1) e na Baía de Suape (P2), representando a porção interna do porto. Para retratar a porção externa do CIPS, as coletas foram feitas em frente à saída da pluma dos Rios Ipojuca e Merepe (P3) e nas proximidades do Cabo de Santo Agostinho (P4).

Climatologia e Variáveis Ambientais

Os dados referentes à pluviometria foram obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia⁶².

A profundidade foi aferida através de um ecobatímetro (ecobatímetro digital, LCD, resolução de 0.1 m). A temperatura e a salinidade foram determinadas a partir de um CTD. A transparência da água foi calculada utilizando um disco de Secchi. O material particulado em suspensão (MPS) foi estabelecido pelo método gravimétrico de volatilização, adaptado por Strickland e Parsons⁶³. As concentrações de oxigênio dissolvido através da metodologia de Winkler modificado e descrito por Strickland e Parsons⁶³ (precisão de $\pm 1.3 \mu\text{mol}$) e para a taxa de saturação do oxigênio utilizou-se a tabela da UNESCO⁶⁴.

Os sais nutrientes dissolvidos, amônia, nitrito e nitrato foram analisados segundo o método de Strickland e Parsons⁶³. Enquanto que o fosfato e silicato foram calculados de acordo com Grasshoff et al.⁶⁵. O nitrogênio inorgânico dissolvido (DIN) foi calculado a partir da soma da $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$, silicato inorgânico dissolvido (DIS) foi analisado via SiO_2^- e fósforo inorgânico dissolvido (DIP), avaliado via o PO_4^- . A avaliação das limitações estequiométricas do fitoplâncton foi feita a partir da razão de Redfield, conforme Pavlidou et al.⁶⁶ e Xu et al.⁶⁷.

Determinação Quantitativa do Fitoplâncton

As amostras de água para análise da biomassa fitoplanctônica, foram coletadas na superfície utilizando-se uma garrafa de Niskin, o volume filtrado a vácuo foi de 1.5 L, em filtros de fibra de vidro GF/F da Whatman de 47 mm de diâmetro. A clorofila *a* total e $<20 \mu\text{m}$ foram quantificadas pelo método espectrofométrico da UNESCO⁶⁸, e calculadas a partir da fórmula de Parsons e Strickland⁶⁹, sendo os resultados expressos em mg m^{-3} .

Para a determinação da densidade fitoplanctônica, as amostras foram coletadas em garrafas de Niskin e acondicionadas em frascos de 1 L, imediatamente fixadas com Lugol a 2%. No laboratório, foram analisadas utilizando um microscópio invertido (Zeiss, AXIOVERT), de acordo com o método de Utermöhl¹¹⁷, utilizando uma cubeta de 10 mL, e os resultados expressos em número de cel L^{-1} .

As espécies foram identificadas com base em bibliografias especializadas^{118–127}. Para classificação taxonômica e atualização de sinonímias, foi utilizado o sistema disponível no AlgaeBase¹²⁸.

A abundância relativa dos táxons calculada de acordo com Lobo e Leighton¹²⁹. Para os resultados obtidos foi adotada a seguinte escala de abundância: dominante – espécie cuja

ocorrência numérica é maior que 50% do número total de indivíduos da amostra; abundante – espécie cuja ocorrência supera o número médio de indivíduos da amostra; raro – espécies cuja ocorrência é inferior ao número médio de indivíduos da amostra.

O cálculo do biovolume total foi baseado nos trabalhos de Hillebrand et al.¹³⁰, Sun e Liu¹³¹ e Vadrucchi et al.¹³², onde para cada indivíduo identificado foi atribuída uma forma geométrica, semelhante à sua forma real. Todos os organismos foram medidos na objetiva de 20x. Somente os táxons classificados como dominantes e abundantes, tiveram o seus biovolumes estimados.

A biomassa em carbono ($\text{pg}_C \text{ L}^{-1}$) foi convertida através das medidas obtidas do biovolume celular ($\text{mm}^3 \text{ L}^{-1}$) utilizando a metodologia descrita por Menden-Deuer e Lessard¹³³ e Verity et al.¹³⁴ e posteriormente os dados foram transformados para a unidade $\mu\text{g}_C \text{ L}^{-1}$. Para extrapolação do carbono orgânico aplicou-se os seguintes fatores de conversão:

Cyanobacteria: $\text{pg}_C = 0.436 * BV^{0.836}$ Miozoa: $\text{pg}_C = 0.216 * BV^{0.936}$ Bacillariophyta: $\text{pg}_C = 0.288 * BV^{0.811}$
--

Microfitoplâncton

O microfitoplâncton foi coletado através de arrastos horizontais subsuperficiais, com uma rede de plâncton de abertura de malha de 20 μm , durante 5 minutos em cada estação de amostragem. As amostras foram preservadas em formol a 4% para posterior análise.

A composição da comunidade fitoplanctônica foi estabelecida através da observação das amostras em um microscópio óptico (Zeiss), sob aumento de 100X e 400X. Todos os organismos em bom estado de preservação foram considerados e identificados até o menor nível taxonômico possível.

A abundância relativa dos táxons calculada de acordo com Lobo e Leighton¹²⁹. Os cálculos da frequência de ocorrência baseados em Mateucci e Colma¹³⁵. Em função do grau de frequência de ocorrência, as espécies foram classificadas nas seguintes categorias: Muito Frequentes ($>70\%$); Frequentes ($\leq 70 > 40\%$); Pouco frequentes ($\leq 40 > 10\%$) e Esporádicas ($\leq 10\%$).

A diversidade específica utilizando o índice de Shannon¹³⁶, que considera o número total de cada espécie na amostra, varia de 1.0 a 5.0 bits cel⁻¹, sendo os valores acima de 2.5 bits cel⁻¹ considerados com alta diversidade e abaixo de 1.0 bits cel⁻¹ diversidade muito baixa, segundo a classificação de Valentin¹³⁷.

A equitabilidade foi calculada segundo Pielou¹³⁸, esta varia de 0 a 1, se os valores estiverem próximo a 0, a equitabilidade é baixa e acima de 0.5 é considerada significativa e equitativa, o que representa uma distribuição uniforme de todas as espécies na amostra.

Para o cálculo da riqueza de espécies utilizou-se o proposto por Margalef¹³⁹, onde os valores de riqueza > 5 significam maior riqueza de espécies¹⁴⁰.

A classificação ecológica dos táxons infragenéricos foram baseados nas pesquisas de Moreira Filho et al.^{141,142}, Torgan e Biancamano¹⁴³ e Silva Cunha et al.¹⁴⁴.

Análises Estatísticas

Para verificar se houve diferença significativa entre os dados abióticos, utilizando como fatores a espacialidade, sazonalidade e estágio de maré, foram utilizados os testes de Komogorov-Smirnov e Levene para testar a normalidade e a homogeneidade dos dados, respectivamente. Posteriormente, foi aplicado o teste não paramétrico de Mann-Whitney considerando significativo os valores de $p < 0.05$, utilizando o *software* STATISTICA 8®.

Para determinar o percentual de contribuição de cada taxa e identificar as espécies caracterizantes e discriminantes nos fatores sazonalidade e espacialidade, foi realizada uma análise de porcentagem de similaridade (SIMPER). As diferenças significativas das comunidades fitoplanctônicas entre os fatores foram testadas pela análise de similaridade (ANOSIM). Todos os testes, mencionados acima foram realizados nos *softwares* PRIMER 6 e PERMANOVA + 1.0.3.

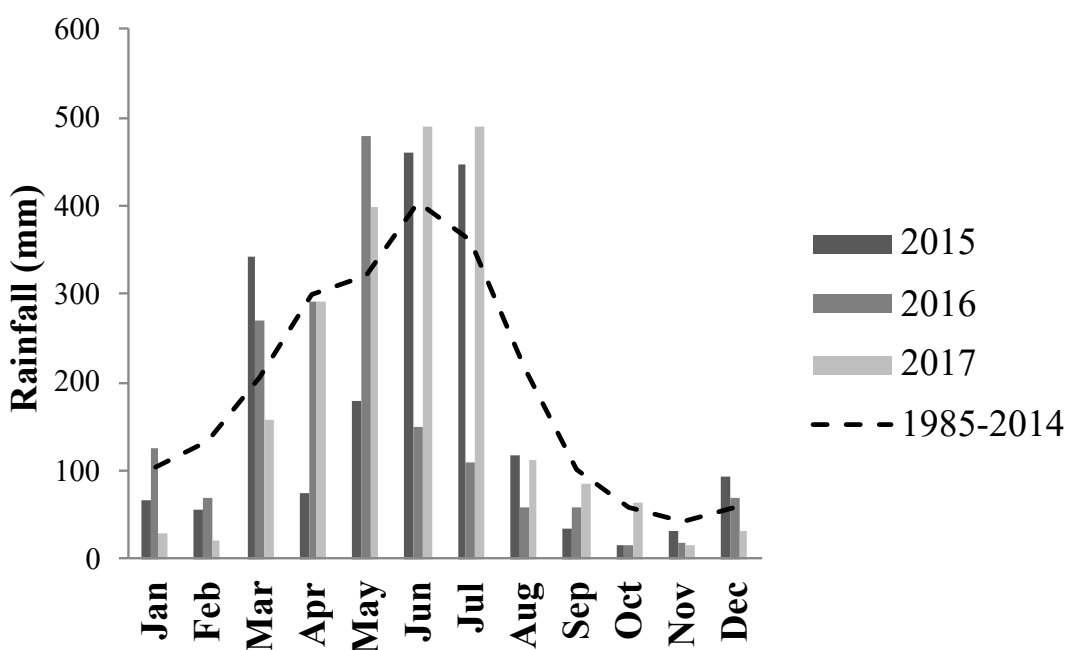
Posteriormente foi realizada uma Análise de Correspondência Canônica (ACC), como intuito de verificar relação das variáveis ambientais e as espécies, utilizando o programa PAST 3.25. A significância das variáveis foi testada através do teste de permutação de Monte Carlo, com 999 permutações irrestritas nos dois primeiros eixos da ACC.

RESULTADOS

Climatologia e Variáveis Ambientais

A precipitação pluviométrica nos meses em que foram realizadas as amostragens variou de 292.4 mm em abril de 2016 a 28.7 mm em janeiro de 2017, com exceção de Janeiro de 2016, todos os outros meses revelaram precipitação abaixo da média histórica dos últimos 30 anos (1985 – 2014) (Figura 2). Não houve diferença significativa entre o período de estudo e os valores históricos (Mann-Whitney; $p=0.19$ e $p=0.93$ para os períodos de estiagem e chuvoso, respectivamente; $\alpha=0.05$) (Tabela 1)

Figura 2 – Dados da incidência pluviométrica na estação experimental no Curado – PE entre os anos de 2015 e 2017 e a média histórica mensal de 30 anos (1985 -2014)

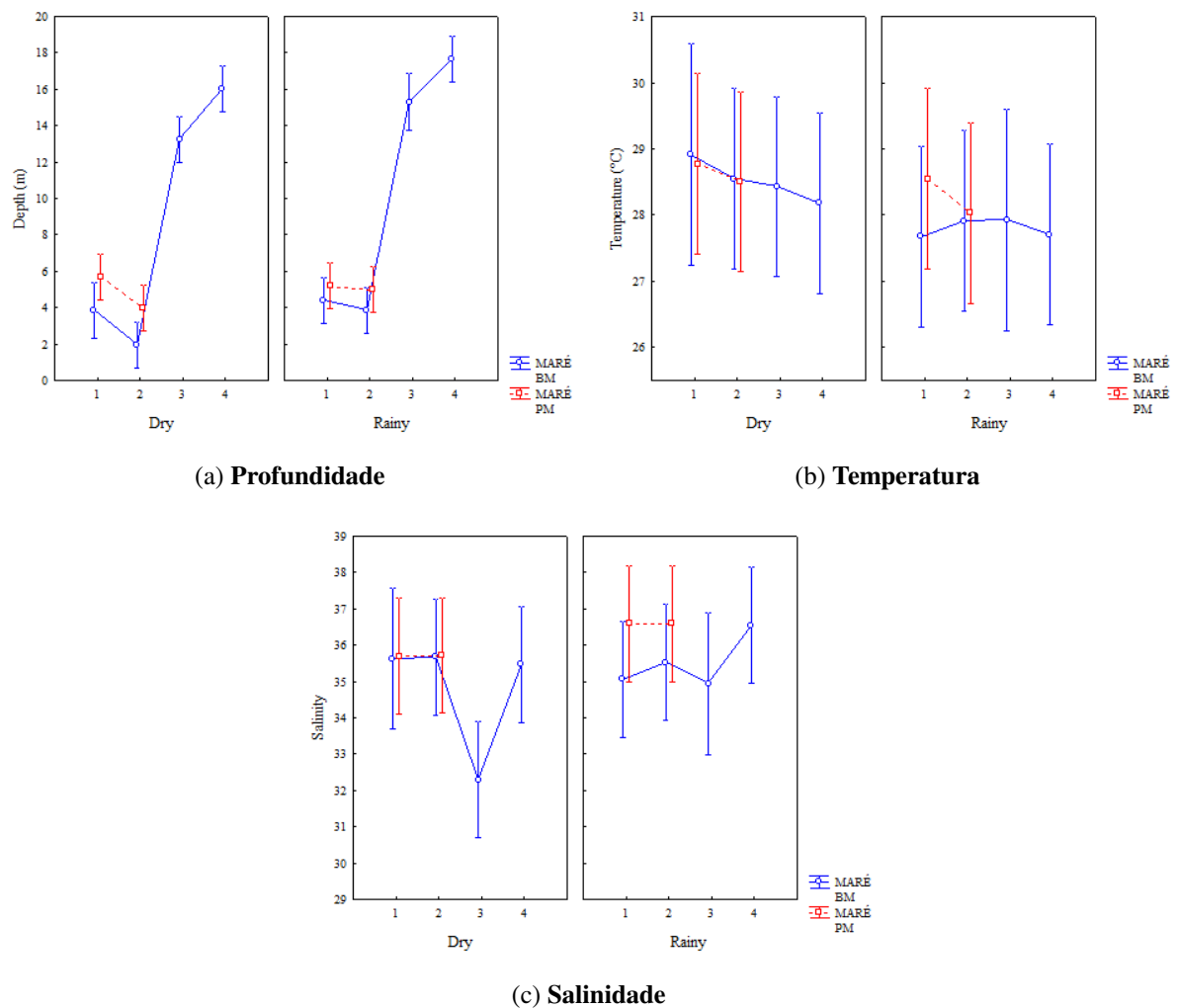


Fonte: INMET

Entre as variáveis ambientais, a profundidade local oscilou de 19.0 a 1.3 m, embora não tenha registrado variação significativa, os maiores valores foram observados nos pontos externos a linha de recifes (Figura 3 (a)). A temperatura da água apresentou uma pequena amplitude térmica (4.54 °C) e não foi registrada variação significativa para nenhum dos fatores analisados (Figura 3 (b)). A salinidade oscilou de 37.20 a 32.15, registrando diferença significativa apenas em relação aos estágios de maré, com os menores valores em baixa-mar ($p=0.03$) (Figura 3 (c)). Embora não tenha apresentado variação relevante, as concentrações de MPS foram maiores no

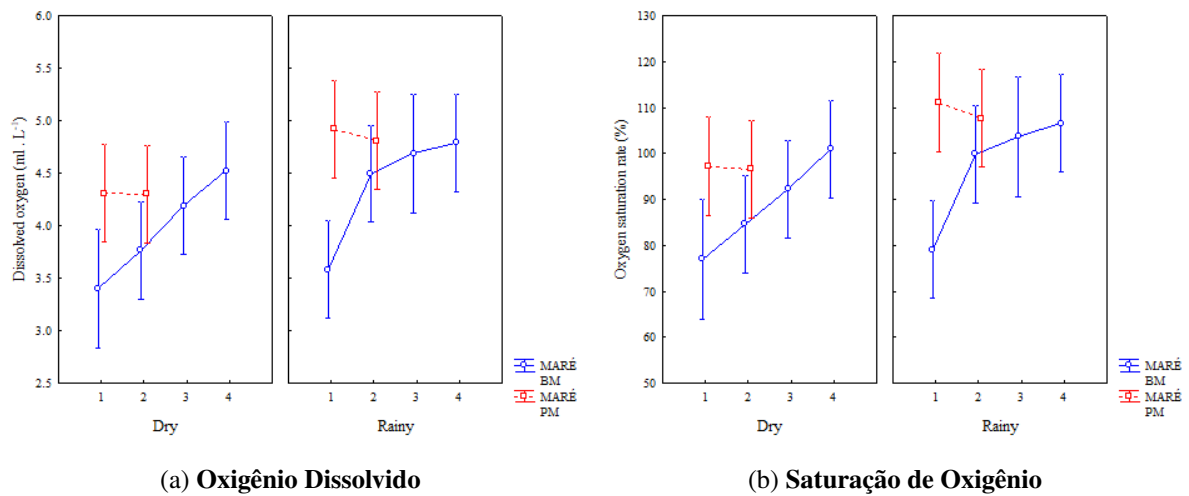
período chuvoso, padrão oposto foi observado para a transparência das águas adjacentes ao Porto de Suape. Os valores de oxigênio dissolvido (OD) e sua taxa de saturação estiveram elevados em sua maioria. Houve variação significativa sazonal tanto para o OD ($p=0.02$) quanto para a sua taxa de saturação ($p=0.02$) e de maré para esta última variável ($p=0.03$) (Figura 4). Ambos apresentaram as maiores concentrações nos pontos externos à linha de recife e no período chuvoso (Tabela 1).

Figura 3 – Variação sazonal, espacial e de maré das variáveis abióticas: profundidade (A), temperatura (B), salinidade (C), durante o período de estudo na região portuária de Suape, Pernambuco, Brasil



Fonte: Laisa Madureira

Figura 4 – Variação sazonal, espacial e de maré das variáveis abióticas: oxigênio dissolvido (A) e taxa de saturação do oxigênio (B), durante o período de estudo na região portuária de Suape, Pernambuco, Brasil

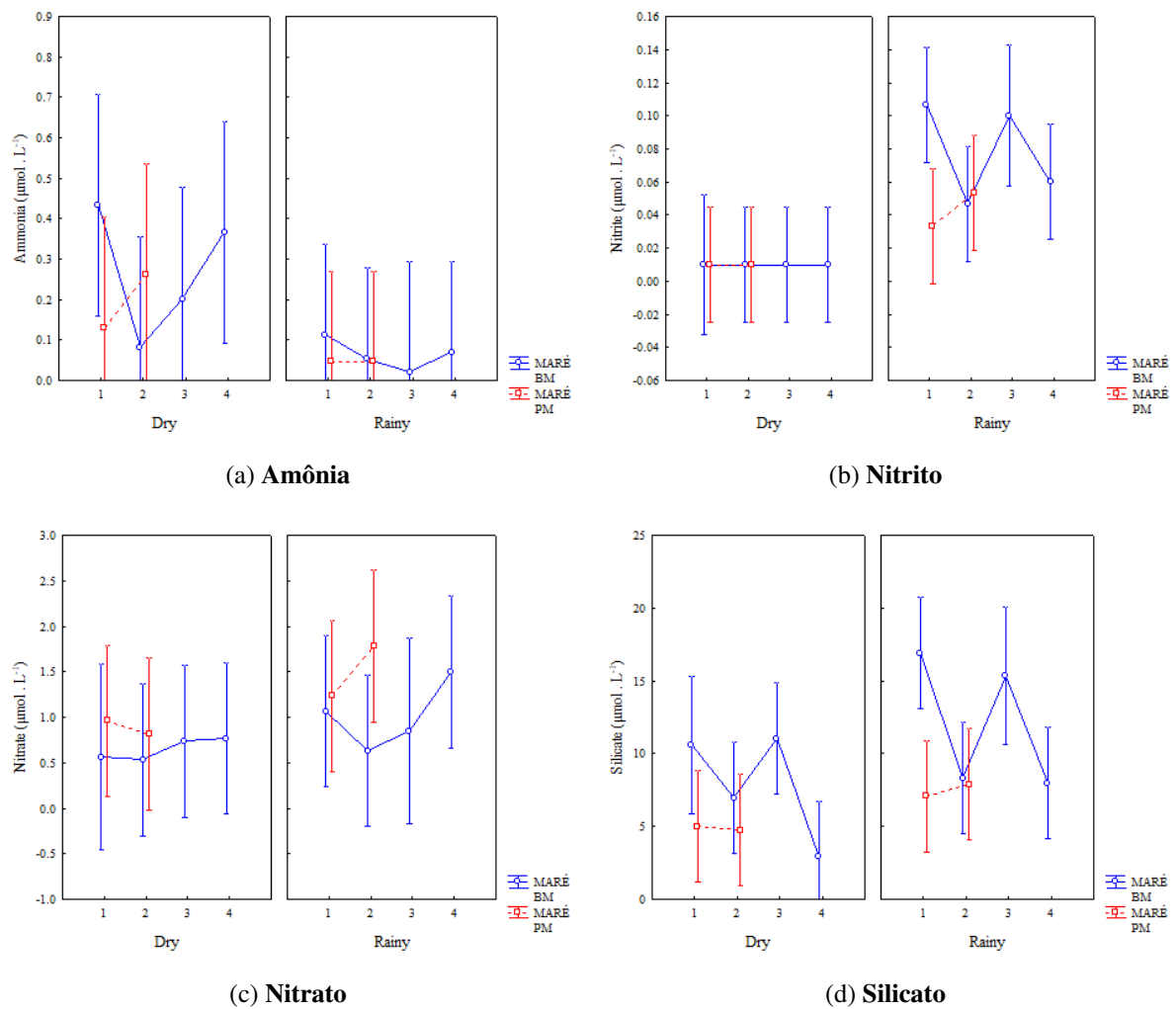


Fonte: Laisa Madureira

Quanto aos sais nutrientes, a amônia e o nitrito registraram variação sazonal, com os elevados teores, no período de estiagem ($p=0.00$) e chuvoso ($p=0.00$), respectivamente. Embora não tenham apresentado variação significativa quanto aos estágios de maré, observa-se que as maiores concentrações foram registradas em baixa-mar para os dois parâmetros. O nitrato registrou os mais altos valores quando comparados com os outros sais nitrogenados, com máximo de $2.40 \mu\text{mol L}^{-1}$, não apresentando variação significativa. O silicato registrou variação significativa quanto a maré ($p=0.03$) e período ($p=0.02$), sendo mais elevados nos meses chuvosos e em estágio de baixa-mar (Figura 5) (Tabela 1).

A razão molar DIN : DIP mostrou co-limitação da comunidade fitoplanctônica, onde 79.42 % dos pontos amostrados apresentaram limitação por nitrogênio e 20.58% por fósforo. Essa limitação pelo fósforo ficou evidente durante o período chuvoso principalmente nos pontos 1, 2 e 4 durante a baixa-mar e preamar, exceto o ponto 1 em janeiro/16 durante a preamar.

Figura 5 – Variação sazonal, espacial e de maré das variáveis abióticas: amônia (A) nitrito (B), nitrato (C) e silicato (D), durante o período de estudo na região portuária de Suape, Pernambuco, Brasil



Fonte: Laisa Madureira

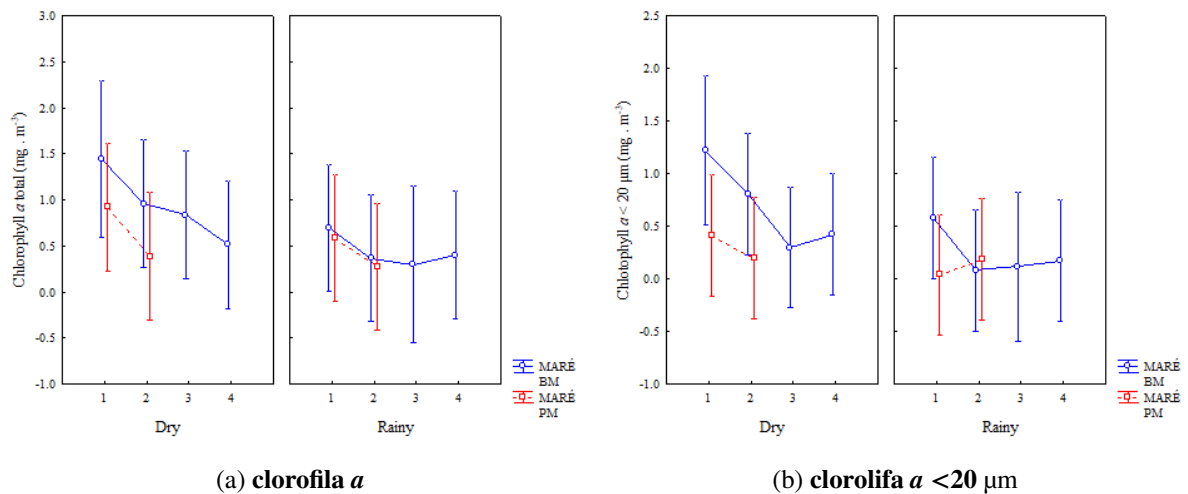
Tabela 1 – Variáveis ambientais no período chuvoso e de estiagem (Min = mínimo, Max = máximo, Med = média, and SD = desvio padrão) e os testes não paramétricos (MW = Mann-Whitney; KW = Kruskal-Wallis) com o valor de p para os tratamentos (espacial, sazonal e maré)

Variáveis	Período Chuvoso					Período de Estiagem					MW		
	Máx.	Mín.	Med.	±SD		Máx.	Mín.	Med.	±SD	Espacial	Sazonal	Maré	
Pluviometria 2015 - 2017 (mm)	292.40	57.50	110.3	123.24		124.00	28.70	30.60	54.48	-	0.19	-	
Pluviometria 1985 - 2014 (mm)	657.30	46.80	352.05	431.68		276.40	8.70	142.55	189.29	-	0.93	-	
Temperatura (°C)	31.13	26.59	27.96	1.36		29.03	28.12	28.53	0.25	0.84	0.14	0.50	
Salinidade	37.15	34.58	35.93	0.83		37.04	32.20	35.04	2.00	0.77	0.45	0.03*	
Transparência (m)	3.00	0.50	1.74	0.86		5.80	1.00	2.26	1.16	0.60	0.69	0.10	
MPS (mg L⁻¹)	47.00	1.60	32.73	13.87		50.56	23.30	33.48	8.01	0.44	0.22	0.32	
Taxa de Saturação do OD (%)	114.54	76.81	101.20	12.74		106.68	58.53	92.30	11.55	0.44	0.02*	0.03*	
Amônia (μmol L⁻¹)	0.18	0.01	0.06	0.05		0.84	0.01	0.24	0.25	0.45	0.00*	0.51	
Nitrato (μmol L⁻¹)	0.14	0.01	0.06	0.04		0.01	0.01	0.01	0.01	0.54	0.00*	0.25	
Nitrato (μmol L⁻¹)	2.40	0.20	1.19	0.71		2.00	0.01	0.73	0.57	0.96	0.05	0.10	
Fosfato (μmol L⁻¹)	0.35	0.02	0.11	0.07		0.34	0.05	0.15	0.07	0.06	0.09	0.71	
Silicato (μmol L⁻¹)	24.20	3.00	10.30	5.28		13.60	2.30	6.65	3.40	0.06	0.02*	0.03*	

Determinação Quantitativa do Fitoplâncton

As concentrações de clorofila *a* total e fracionada registraram máxima de 2.45 e 2.17 mg m^{-3} e mínima de 0.02 e 0.01 mg m^{-3} , respectivamente (Figura 6). A clorofila *a* total apresentou variação espacial ($p = 0.03$), com os maiores teores nos pontos internos do porto de Suape, no período de estiagem. A fração $<20 \mu\text{m}$ foi a que mais contribuiu para o sistema estuarino, correspondendo a 88.57 %.

Figura 6 – Variação sazonal, espacial e de maré das variáveis bióticas: clorofila *a* total (A) clorolifa *a* $<20 \mu\text{m}$ (B), durante o período de estudo na região portuária de Suape, Pernambuco, Brasil

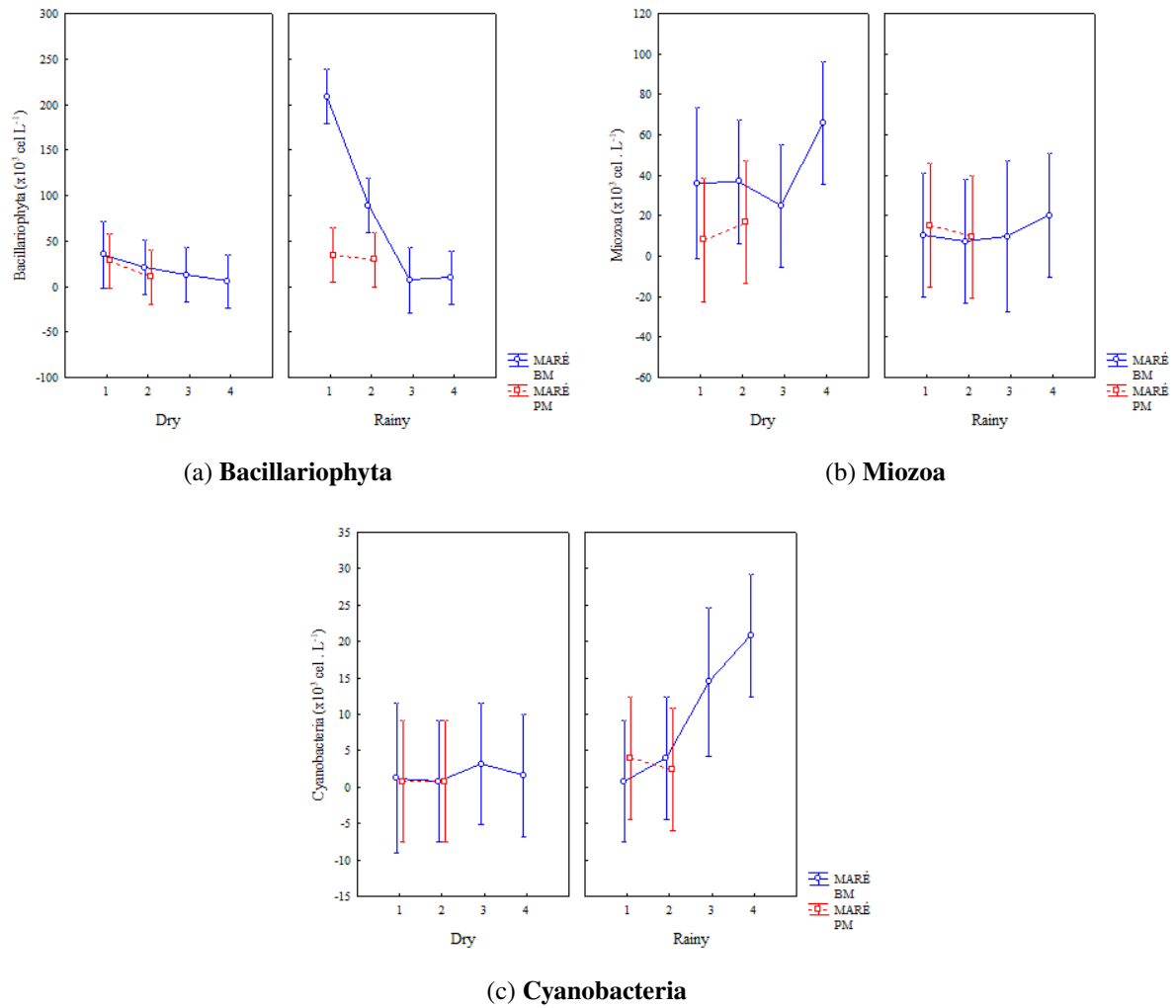


Fonte: Laisa Madureira

A densidade fitoplancônica total variou de 12.03 a $286.38 \times 10^3 \text{ cel L}^{-1}$, com valores mais elevados no período chuvoso (média de $85.93 \times 10^3 \text{ cel L}^{-1}$) em comparação com período de estiagem (média de $50.39 \times 10^3 \text{ cel L}^{-1}$).

A densidade das diatomáceas oscilou de 2.40 a $269.54 \times 10^3 \text{ cel L}^{-1}$ e das cianobactérias de 2.40 a $45.72 \times 10^3 \text{ cel L}^{-1}$, apresentaram diferença sazonal ($p=0.03$; $p=0.03$) e espacial ($p=0.04$; $p=0.04$) significativas, com maiores valores no período chuvoso. O número de células das diatomáceas foi mais elevado nos pontos internos ao porto de Suape, enquanto que o das cianobactérias nos pontos externos, ambos em baixa-mar. Já a densidade celular dos dinoflagelados, oscilou de 2.40 a $134.77 \times 10^3 \text{ cel L}^{-1}$ e variou apenas sazonalmente ($p=0.03$), com maiores valores no período de estiagem (Figura 7).

Figura 7 – Variação sazonal, espacial e de maré da densidade celular fitoplanctônica dos filos: Bacillariophyta (A) Miozoa (B) Cyanobacteria (C), durante o período de estudo na região portuária de Suape, Pernambuco, Brasil

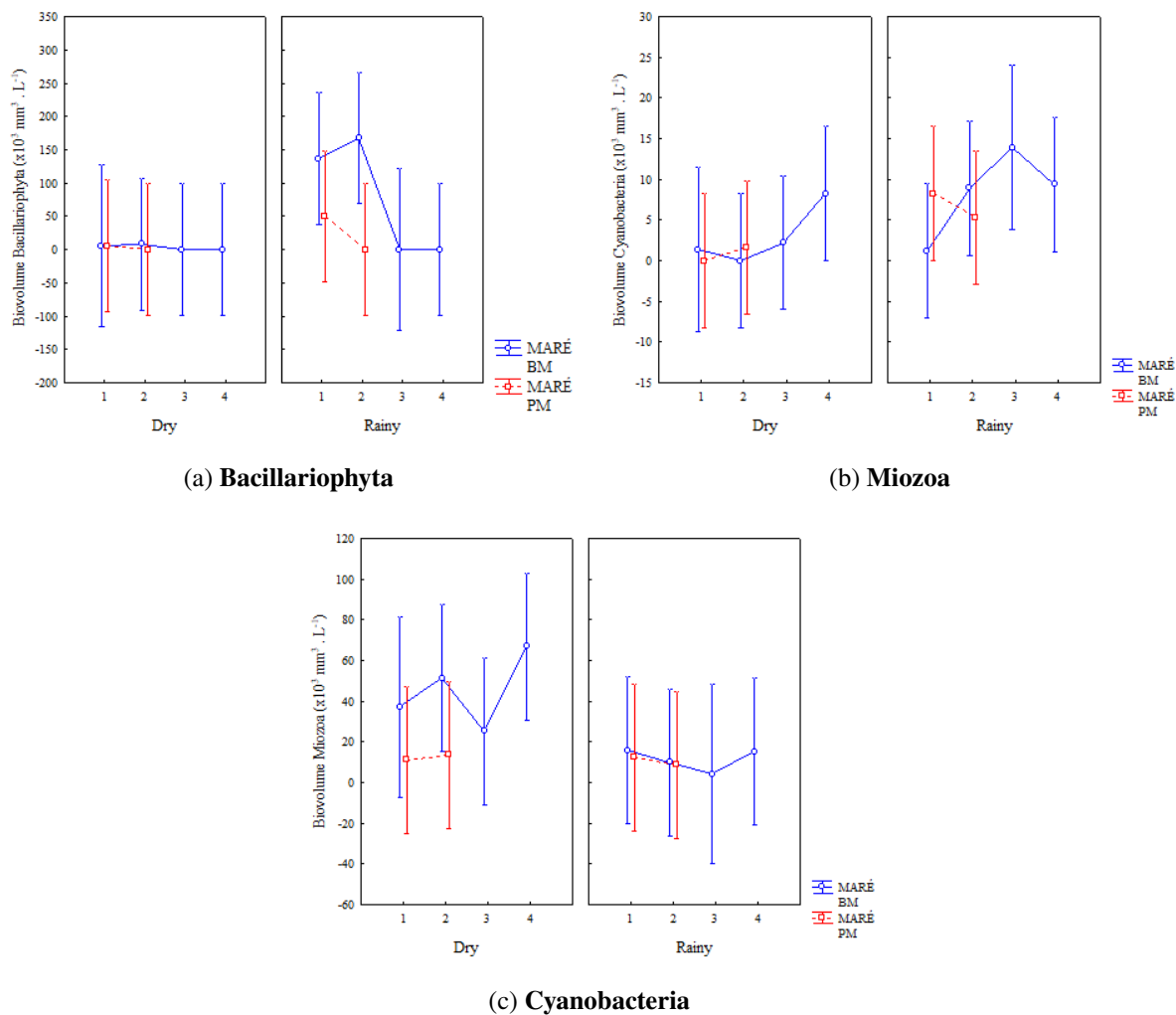


Fonte: Laisa Madureira

Como mencionado anteriormente, somente os táxons classificados como dominantes e abundantes da análise quantitativa tiveram os seus biovolume e biomassa em carbono estimados.

O biovolume celular total oscilou de 5.23 a $461.22 \times 10^3 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$. As diatomáceas apresentaram os maiores valores ($1113.75 \times 10^3 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$), com destaque para a *Bacillaria paxillifera* e *Pseudo-nitzschia pungens* Hasle. Os dinoflagelados registraram biovolume celular de $775.02 \times 10^3 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$, representados pelos táxons *Gymnodinium sp.* e *Protoperidinium sp.5*. A cianobactéria *Oscillatoria sp.* obteve biovolume de $165.71 \times 10^3 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ (Figura 8). Foram registradas variação sazonal significativa apenas para *Oscillatoria sp.* ($p=0.02$) e *Protoperidinium sp.5* ($p=0.02$), com maiores varoies no período chuvoso e seco, respectivamente.

Figura 8 – Variação sazonal, espacial e de maré do biovolume celular dos filos: Bacillariophyta (A) Miozoa (B) Cyanobacteria (C), durante o período de estudo na região portuária de Suape, Pernambuco, Brasil



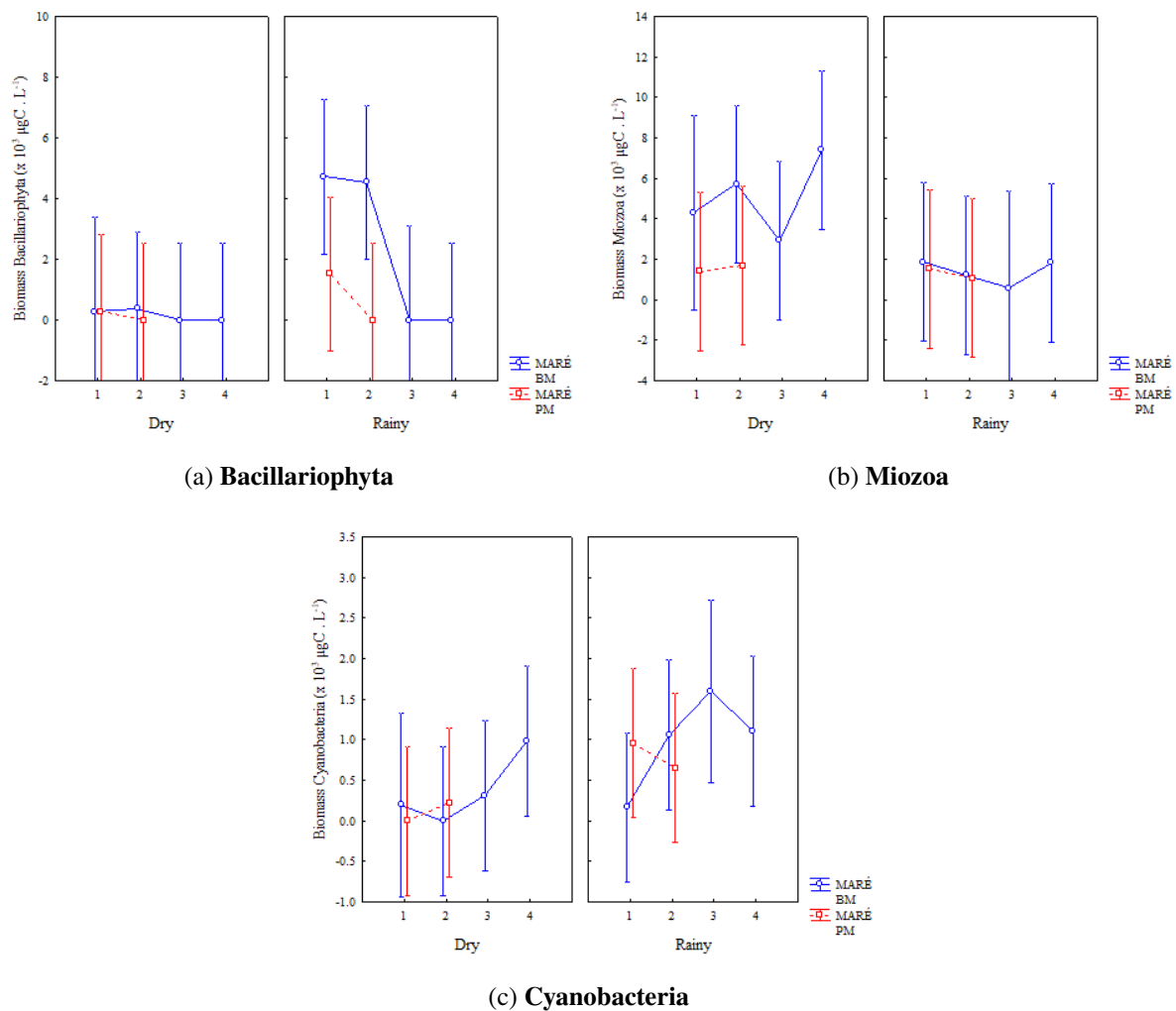
Fonte: Laisa Madureira

A biomassa em carbono total oscilou de 0.67 a $16.38 \times 10^3 \mu\text{gC L}^{-1}$. Os dinoflagelados

foram os organismos que mais contribuíram para o sistema com $89.64 \times 10^3 \mu\text{gC L}^{-1}$, seguido pelas diatomáceas com $34.82 \times 10^3 \mu\text{gC L}^{-1}$ e a cianobactéria com $19.94 \times 10^3 \mu\text{gC L}^{-1}$ (Figura 9). Foram registradas variação sazonal significativa apenas para cianobactéria ($p=0.02$) e dinoflagelados ($p=0.01$), com maiores varões no período chuvoso e seco, respectivamente.

O dinoflagelado *Gymnodinium sp.* foi a espécie mais produtora da área estudada, contribuindo com 32.40 % da biomassa total.

Figura 9 – Variação sazonal, espacial e de maré da biomassa em carbono dos filos: Bacillariophyta (A) Miozoa (B) Cyanobacteria (C), durante o período de estudo na região portuária de Suape, Pernambuco, Brasil



Fonte: Laisa Madureira

Microfitoplâncton

Baseado na análise das amostras do plâncton, coletadas nas áreas adjacentes ao CIPS, foi possível identificar 127 táxons. O filo Bacillariophyta representado com 95 táxons, contribuindo

com 74.8% da flora, seguido pelo Miozoa com 20 táxons (14.17%), Cyanobacteria com 9 táxons (7.08%), Chlorophyta com 3 táxons (2.36%) e Euglenozoa com 1 taxa (0.78%) (Tabela 2).

A riqueza taxonômica variou de 15 a 59, os pontos internos ao porto de Suape registraram média de 41.25 e os externos de 27.45, com diferença espacial significativa ($p=0.01$). Embora não tenha registrado variação sazonal significativa, obteve riqueza média de 40.23 no período chuvoso e 34.00 na estiagem (Figura 10).

Foram registradas as espécies dominantes, *Bacillaria paxillifera*, no P1 e P2 ambos em julho/2016 e no P4 em abril/2016 e *Chaetoceros compressus* Lauder, no P4 em janeiro/2017, durante a baixa-mar.

As bacilariofíceas penadas (*Bacillaria paxillifera*, *Campylodiscus neofastuosus* Ruck & Nakov, *Nitzschia longissima* (Brébisson) Ralfs in Pritchard, *Nitzschia sigma* (Kützing) W.Smith, *Gyrosigma balticum* (Ehrenberg) Rabenhorst, *Gyrosigma* sp.1) e os dinoflagelados (*Protoperidinium brevipes* (Paulsen) Balech, *Protoperidinium pellucidum* Bergh) foram consideradas muito frequentes na área (Tabela 2).

Tabela 2 – Táxons identificados no entorno do Complexo Industrial e Portuário de Suape (CIPS). CF=classe de frequência; MF=muito frequente; F=frequente; PF=pouco frequente; E=esporádica; CE=categoria ecológica; PMN=planctônica marinha nerítica; PMO=planctônica marinha oceânica; PD=planctônica dulcícola; PE=planctônica estuarina; TN=ticoplanctônica nerítica; TE= ticoplanctônica estuarina; TD= ticoplanctônica dulcícola

CYANOBACTERIA					
	CF	CE		CF	CE
<i>Eudorina</i> sp.	E	x	<i>Oscillatoria princeps</i>	PF	PD
<i>Kamptonema formosum</i>	PF	PD	<i>Oscillatoria tenuis</i>	PF	x
<i>Kmovophoron</i> sp.	E	x	<i>Planktothrix agardhii</i>	E	x
<i>Lyngbya</i> sp.	E	x	<i>Trichodesmium erythraeum</i>	E	PMO
<i>Oscillatoria limosa</i>	PF	PD			
EUGLENOZOA					
	CF	CE		CF	CE
<i>Euglena acus</i>	E	PD			
MIOZOA					
	CF	CE		CF	CE
<i>Gonyaulax</i> sp.	PF	x	<i>Protoperidinium steinii</i>	E	PMO

<i>Gymnodinium</i> sp.	F	x	<i>Pyrophacus steinii</i>	PF	PMO
<i>Ostreopsis ovata</i>	E	TN	<i>Tripos furca</i>	F	PMN
<i>Prorocentrum lima</i>	E	PE	<i>Tripos fusus</i>	PF	PMO
<i>Prorocentrum micans</i>	PF	PMO	<i>Tripos massiliensis</i>	PF	PMO
<i>Protoperidinium brevipes</i>	MF	PMN	<i>Tripos muelleri</i>	PF	PMO
<i>Protoperidinium cassum</i>	PF	PMN	<i>Tripos pentagonus</i>	PF	PMO
<i>Protoperidinium divergens</i>	PF	PMO	<i>Tripos teres</i>	PF	PMO
<i>Protoperidinium ovatum</i>	F	PMN	<i>Tripos trichoceros</i>	PF	PMO
<i>Protoperidinium pellucidum</i>	MF	PMO		PF	PMO
<i>Protoperidinium</i> spp.	F	x			
BACILLARIOPHYTA	CF	CE		CF	CE
<i>Amphitetras antediluviana</i>	E	TN	<i>Licmophora lyngbyei</i>	PF	TN
<i>Amphora angusta</i>	PF	TN	<i>Licmophora</i> sp.1	F	x
<i>Amphora arenaria</i>	F	TN	<i>Licmophora</i> sp.2	PF	x
<i>Amphora ostrearia</i>	PF	x	<i>Licmophora</i> sp.3	PF	x
<i>Amphora</i> sp.1	PF	x	<i>Lyrella lyra</i>	F	TN
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	F	PMN	<i>Mastogloia fimbriata</i>	E	TN
<i>Bacillaria paxillifera</i>	MF	PMO	<i>Mastogloia splendida</i>	E	TN
<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	PF	PMO	<i>Mediopyxis helysia</i>	F	x
<i>Bacteriastrum hyalinum</i>	PF	PMO	<i>Melosira moniliformes</i>	PF	TN
<i>Biddulphia balaena</i>	PF	x	<i>Navicula</i> sp.1	F	x
<i>Biddulphia triden</i>	E	PMN	<i>Navicula</i> sp.2	F	x
<i>Campylodiscus fastuosus</i>	E	PMN	<i>Navicula</i> sp.3	PF	x
<i>Campylodiscus neofastuosus</i>	MF	x	<i>Navicula</i> spp.	F	x
<i>Campyloneis grevillei</i>	PF	TN	<i>Nitzschia longissima</i>	MF	TN
<i>Catacombas gaillonii</i>	PF	TE	<i>Nitzschia lorenziana</i>	E	TN
<i>Cerataulina pelágica</i>	PF	PMO	<i>Nitzschia recta</i>	PF	x
<i>Chaetoceros affinis</i>	F	PMO	<i>Nitzschia sigma</i>	MF	TN
<i>Chaetoceros atlanticus</i>	E	PMO	<i>Nitzschia</i> spp.	PF	x

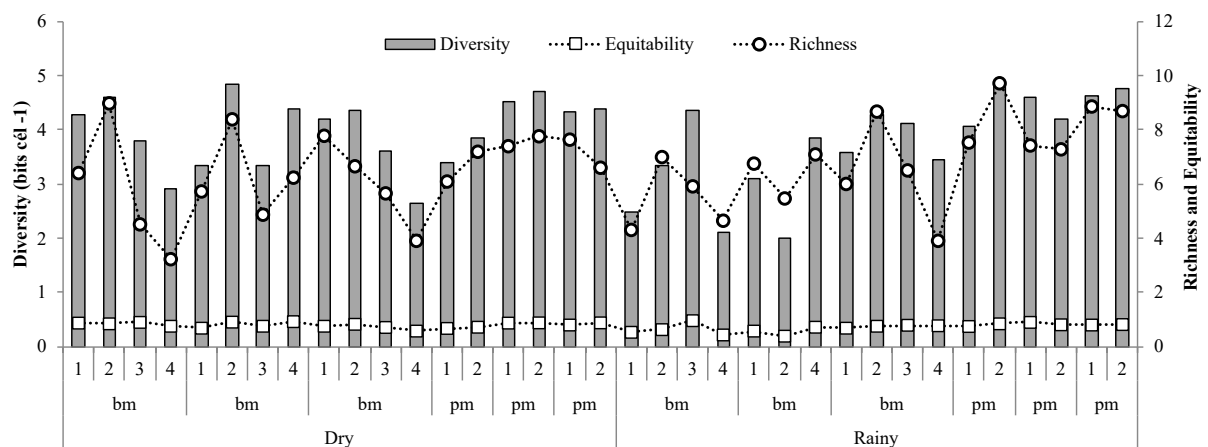
<i>Chaetoceros brevis</i>	E	PMN	<i>Odontella aurita</i>	PF	TN
<i>Chaetoceros compressus</i>	PF	PMO	<i>Paralia sulcata</i>	F	TN
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	PF	PMN	<i>Petroneis humerosa</i>	F	PMN
<i>Chaetoceros diversus</i>	E	PMO	<i>Plagiogramma</i> sp.1	E	x
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	F	PMN	<i>Plagiotropis lepidoptera</i>	PF	TN
<i>Chaetoceros mitra</i>	E	PMN	<i>Gyrosigma angulatum</i>	F	TN
<i>Chaetoceros subtilis</i>	E	PMN	<i>Gyrosigma balticum</i>	MF	TE
<i>Climacosphenia moniligera</i>	F	TN	<i>Pleuro Gyrosigma</i> sp.1	MF	x
<i>Cocconeis pellucida</i>	E	x	<i>Podocystis adriática</i>	F	TN
<i>Corethron hystrix</i>	E	PMO	<i>Proboscia alata</i>	PF	PMO
<i>Coscinodiscococcus</i> spp.	PF	x	<i>Psammodictyon panduriforme</i>	PF	TN
<i>Coscinodiscus centralis</i>	F	PMO	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	F	PMN
<i>Coscinodiscus excentricus</i>	F	TN	<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	PF	PMO
<i>Coscinodiscus granii</i>	PF	PMN	<i>Rhabdonema adriaticum</i>	E	TN
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	PF	PMN	<i>Rhabdonema punctatum</i>	E	TN
<i>Cylindrotheca closterium</i>	F	TN	<i>Rhizosolenia imbricata</i>	E	PMN
<i>Dictyocha fibula</i>	PF	PMO	<i>Rhizosolenia setigera</i>	F	PMO
<i>Dimeregramma marinum</i>	PF	TN	<i>Stauroneis</i> sp.	E	x
<i>Diploneis crabro</i>	PF	TN	<i>Surirella febigeri</i>	E	TN
<i>Entomoneis alata</i>	F	TE	<i>Synedra</i> spp.	PF	x
<i>Entomoneis pulchra</i>	PF	TN	<i>Tabularia affinis</i>	E	TD
<i>Fragilaria capucina</i>	PF	TD	<i>Terpsinoë musica</i>	E	x
<i>Grammatophora oceanica</i>	PF	PMO	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	PF	PMO
<i>Guinardia striata</i>	PF	PMO	<i>Amphora</i> spp.	PF	x
<i>Halamphora turgida</i>	PF	x	<i>Thalassiosira leptopus</i>	F	PMO
<i>Hantzschia amphioxys</i>	PF	TE	<i>Thalassiosira</i> sp.1	F	x
<i>Helicotheca tamesis</i>	PF	PMN	<i>Thalassiosira</i> sp.2	PF	x
<i>Hemiaulus chinensis</i>	PF	PMN	<i>Trachyneis áspera</i>	F	x
<i>Hemiaulus indicus</i>	E	PMN	<i>Triceratium favus</i>	E	x

<i>Hemiaulus membranaceus</i>	PF	PMO	<i>Trieres mobiliensis</i>	E	PMN
<i>Isthmia enervis</i>	PF	TN	<i>Tryblionella scalaris</i>	E	TN
<i>Leptocylindricus</i> sp.	PF	x			
CHLOROPHYTA	CF	CE		CF	FE
<i>Stigeoclonium</i> sp.	PF	x	<i>Ulothrix tenerrima</i>	PF	x
<i>Tetradesmus dimorphus</i>	E	x			

Os táxons identificados no complexo estuarino de Suape foram distribuídos nas seguintes categorias ecológicas: marinhas (planctônica oceânica com 33.33 %, nerítica com 22.58 % e ticoplanctônica nerítica com 32.25 %). As estuarinas (ticoplanctônica 4.30 % e planctônica 1.07 %). Dulcícolas (planctônica com 4.30 % e ticoplanctônica com 2.15 %) (Tabela 2).

A comunidade fitoplanctônica no complexo estuarino de Suape apresentou uma diversidade específica elevada (>2.5 bits cel^{-1}) em mais de 91.42 % das amostras durante o período estudado. Os menores valores de diversidade específica coincidiram com a dominância de *Bacillaria paxillifera*, com 73.34% de abundância relativa nos pontos de amostragem P2 e P4, ambos no período chuvoso durante a baixa-mar. De maneira geral, os valores de equitabilidade foram maiores do que 0.5, evidenciando a distribuição uma equitativa das espécies na área estudada (Figura 10).

Figura 10 – Índice de diversidade específica (bits cel^{-1}) (barras), equitabilidade (marcadores quadrados) e riqueza (marcadores circulares) da comunidade fitoplanctônica, nos períodos de estiagem e chuvoso, em todos os pontos de amostragem, em estágio de baixa-mar e preamar, na região adjacente ao Complexo Industrial e Portuário de Suape, PE, Brasil



Análises Estatísticas

A análise de contribuição para a similaridade usando a rotina do SIMPER revelou uma média de similaridade de 24.63 % para de estiagem e 25.08 % para o período de chuvoso. O dinoflagelado, *Gymnodinium* sp. (24.79 %) foi a espécie caracterizante do período de estiagem e a diatomácea, *Bacillaria paxillifera* (16.01 %) do chuvoso. Especialmente, a análise indicou que as espécies *Bacillaria paxillifera* e *Protoperidinium* sp.5 foram caracterizantes do P1, *Gymnodinium* sp. e *Navicula* sp. do P2, *Protoperidinium* sp.3 e *Oscillatoria* sp. no P3 e *Protoperidinium* sp.5 e *Oscillatoria* sp. no P4 (Tabela 3).

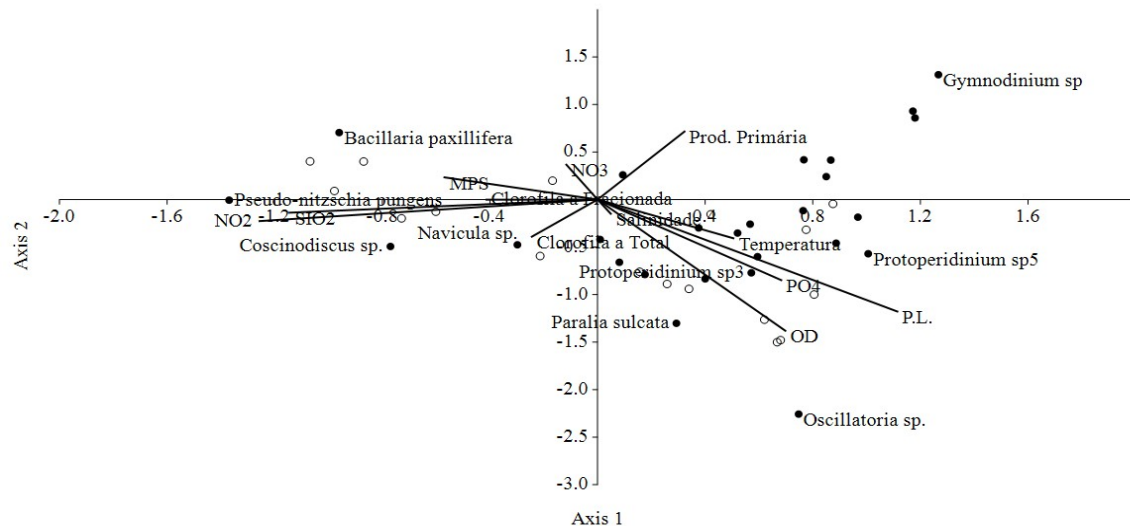
A análise de similaridade one-way (ANOSIM) revelou diferenças discretas e significativas entre a comunidade fitoplanctônica nos períodos sazonais, com Global R=0.10; p=0.02). Quanto à distribuição espacial, essas diferenças (Global R = 0.12; p = 0.03) ficam evidentes quando aplicado o teste Pairwise, onde os pontos mais dissimilares são P2 e P3 (R=0.29; p=0.01) e os P2 e P4 (R=0.22; p=0.02). A maré não é a forçante que direciona essas diferenças espaciais, registrando Global R de 0,03 p=0.29.

Tabela 3 – Sumário dos resultados obtidos através do percentual das maiores contribuições das espécies fitoplanctônica nas similaridades (SIMPER)

Grupo	Média de Similaridade (%)	Taxa	Média de Abundância	Contribuição (%)
Período Chuvoso	25.08%	<i>Bacillaria paxillifera</i>	4.02	16.01
		<i>Paralia sulcata</i>	3.68	14.68
		<i>Oscillatoria</i> sp.	3.03	12.09
		<i>Navicula</i> sp.	2.73	10.88
		<i>Gymnodinium</i> sp.	6.1	24.79
Período de Estiagem	24.63%	<i>Protoperidinium</i> sp.5	5.58	22.66
		<i>Navicula</i> sp.	3.3	13.39

A Análise de Correspondência Canônica (CCA) foi melhor explicada a partir do eixo 1 (56.18%), onde sendo observada uma relação positiva entre as diatomáceas *Bacillaria paxillifera*, *Pseudo-nitzschia pungens* e *Coscinodiscus* sp. e as concentrações de nitrito, silicato e MPS e negativa com *Protoperidinium* sp.5 e temperatura da água no Complexo Estuarino Portuário de Suape. Já o eixo 2 (17.79%), evidenciou relação direta entre *Protoperidinium* sp.3, *Protoperidinium* sp.5, *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve, *Oscillatoria* sp., oxigênio dissolvido, profundidade local, fosfato, salinidade, temperatura e concentrações de clorofila *a* e indireta com *Gymnodinium* sp. e nitrato (Figura 11).

Figura 11 – Análise de Correspondência Canônica (ACC), evidenciando a relação das variáveis abióticas e as espécies com maior representatividade para a comunidade fitoplanctônica da área adjacente ao Complexo Portuário e Industrial de Suape. Siglas: MPS = material particulado em suspensão, NO2 = nitrito, OD = oxigênio dissolvido, PO4 = fósforo, PL = profundidade local, SIO2 = silicato



DISCUSSÃO

A biomassa, a produtividade primária e a composição da comunidade fitoplanctônica são altamente dinâmicas na interface terra e mar, influenciadas principalmente pelas intervenções humanas, variabilidade climática, descarga dos rios, entrada de nutrientes, ação dos ventos e das marés ou pela atuação conjunta desses fatores^{145,109}.

No Complexo estuarino de Suape, a variação dos parâmetros hidrológicos e da flora planctônica, ocorreram devido à sazonalidade, ao movimento das marés e pelas intensas interferências advindas das atividades portuárias.

No ambiente estudado ficou evidente o efeito da ação climática sobre alguns parâmetros ambientais como aumento dos nutrientes dissolvidos, material particulado em suspensão e taxa de saturação do oxigênio. Além disso, o número de células por litro e o biovolume celular das diatomáceas e cianobactérias foram significativamente maiores nos meses mais chuvosos, corroborando com a análise do SIMPER, ao indicar que a *Bacillaria paxillifera*, foi a espécie caracterizante desse período.

Grego et al.¹⁴⁶ na zona costeira do litoral norte de Pernambuco, Honorato da Silva et

al.¹⁴⁷, no estuário do rio Sirinhaém e Bastos et al.⁷⁴ na área estuarina do rio Maracaípe, também evidenciaram uma alteração na estrutura da comunidade fitoplanctônica, em virtude do enriquecimento por nutrientes, ocasionado pelo aumento das chuvas.

Em contrapartida, a diminuição da incidência pluviométrica na zona costeira de Suape, permitiu a elevação da salinidade, da temperatura, a diminuição dos sais nutrientes e do material alóctone na região. Estas mudanças favoreceram a penetração de luz e a atividade fotossintética do fitoplâncton, mais precisamente o filo Dinophyta, que registrou as maiores densidade, biovolume e biomassa em carbono no período de estiagem. O dinoflagelado *Gymnodinium* sp., espécie caracterizante dos meses secos, foi a que mais contribuiu para a área, com 32.40% da biomassa em carbono total.

Vale ressaltar que, desde o ano de 2013 está em funcionamento no complexo portuário de Suape, a maior Usina Termoelétrica a óleo combustível do Brasil (UTE Suape II), que tem como objetivo a geração, o suprimento e a comercialização de energia elétrica¹⁴⁸. Essa atividade deve ter contribuído para elevação da temperatura da água no local, e de acordo com Torstensson et al.⁸, o aumento desse parâmetro, pode acelerar o metabolismo dos organismos fitoplanctônicos e favorecer o seu crescimento.

O padrão de sazonalidade na área costeira da Suape interferiu na estrutura da comunidade fitoplanctônica, onde as diatomáceas (*Bacillaria paxillifera*, *Pseudo-nitzschia pungens* e *Conscinodiscus* sp.) estiveram diretamente correlacionadas com nitrito, silicato e MPS. E no período seco, os dinoflagelados (*Protoperidinium* spp.) relacionaram-se positivamente com a salinidade e temperatura, como ficou bem evidenciado pela Análise de Correspondência Canônica.

Geralmente, as águas costeiras tropicais mostram uma predominância de microfitoplâncton (20-200 μm) durante o período chuvoso devido à quantidade excedente de nutrientes inorgânicos. Por outro lado, durante o período seco, o nano e picoplâncton são os principais contribuintes da biomassa algal¹¹¹.

Ao longo dos anos, foi possível perceber uma expressiva queda na densidade fitoplanctônica, nos estuários do rio Ipojuca e Massangana. De acordo com Koenig e Eskinazi-Leça³⁵, o número de células variava de 416.000 de 5.748.000 cel L^{-1} , após a construção do CIPS, Koenig et al.⁷ registraram mínimo de 142.000 e máximo de 1.789.000 cel L^{-1} , correspondendo

a uma redução de aproximadamente 70%. Já à jusante do rio Massangana, Borges³⁸ registrou densidade total máxima de $390 \times 10^3 \text{ cel L}^{-1}$, enquanto que no presente estudo o maior valor foi de $286 \times 10^3 \text{ cel L}^{-1}$, uma diminuição por volta de 30%.

Levando em consideração a classificação de Kitsiou e Karydis¹⁴⁹, em relação à densidade fitoplancônica e os parâmetros ambientais analisados, a porção interna e externa do porto de Suape, são tipicamente oligotróficas.

Reforçando essa linha de pensamento, Alves et al.³⁹, ao aplicarem o TRIX e o modelo ASSETS constataram que, a perda da comunicação do rio Ipojuca com a Baía de Suape, a redução local das chuvas e o aumento da ação marinha, influenciaram na diminuição da fertilidade aquática da área, além de prever sua atenuação para um cenário futuro.

Um fato importante a mencionar, é que esse efeito antrópico negativo já está sendo observado nos demais elos da teia trófica aquática como constatado por Vasconcelos-Filhos et al.²⁴ que identificaram 30 famílias da ictiofauna local, posteriormente de Silva et al.²⁵ registraram 20 famílias e Bezerra-Júnior et al.,²⁶ apenas 15, o que demonstra uma redução expressiva da ictiofauna costeira, considerando que a Baía de Suape, era tida como berçário para a reprodução de várias espécies marinhas.

De acordo com Hazin et al.⁵⁷ e Chapman e McPhee⁵⁸, o sistema estuarino de Suape era utilizada como área de reprodução e alimentação para espécie de tubarão cabeça-chata, *Carcharhinus leucas* (Müller and Henle, 1839), que em virtude das alterações antrópicas na área, foram descolados para um estuário mais ao norte (Barras das Jangadas), resultando num aumento da interação com seres humanos.

No ano de 1999, a construção do porto interno de Suape foi concluída, com 925 m de novos cais, acessados por uma abertura na linha de arrecifes, com 300 m de largura e 15,5 m de profundidade¹⁴⁸. Devido a essa alteração morfológica, o maior aporte de água salina que adentrou na Baía de Suape, promoveu a elevação da transparência da água, da oxigenação e da salinidade, tornando um ambiente favorável ao desenvolvimento de espécies marinhas, como os dinoflagelados, *Protoperidinium brevipes* e *Protoperidinium pellucidum*, (classificados como muito frequentes), pertencentes ao plâncton marinho nerítico e oceânico, respectivamente.

De acordo com Koenig et al.⁷ o aumento da salinidade resultou numa elevação considerável no número de espécies de dinoflagelados marinhos à jusante do rio Ipojuca, passando de

3.33% para 27.41%. Enquanto que Borges³⁸ registraram 80.72% de espécies marinhas, 10.48% dulcícolas e 8.43% estuarinas e na porção interna do porto de Suape.

Ao analisarmos os padrões ecológicos atuais, verificou-se que 88.16% dos táxons identificados foram classificadas como marinhos, 5.37% como estuarinos e 6.45% como dulcícolas, evidenciando a redução da contribuição continental e aumento da interferência de massas d'água mais salinas no sistema analisado.

Em outros ecossistemas costeiros, como no estuário do rio Yangtze (China) Jiang et al.⁵, atribuíram o aumento da dominância de espécies eurihalinas as atividades antrópicas e alterações climáticas, que ocorreram ao longo de 50 anos na área. Por outro lado, no estuário do Rio Pérola Zhou et al.¹⁵⁰, registraram uma mudança significativa na estrutura da comunidade fitoplanctônica, onde espécies de diatomáceas esteohalinas foram substituídas por eurihalinas, ocasionados pela forte ação das marés que ocorreram na região.

Segundo Fernandes¹³ e Barros¹⁴, as principais atividades impactantes, que vem ocorrendo no CIPS, são: dragagem, erosão, tráfego de embarcações de grande porte, dinamitação do recife, aterros sobre a linha recifal, o manguezal e a planície costeira, supressão dos manguezais adjacentes e as descargas de efluentes industriais e domésticos.

Pessoa et al.²³ afirmam que, de todas as ações antrópicas que ocorrem no complexo portuário de Suape, a mais grave é a atividade de dragagem da Baía de Suape e da plataforma interna adjacente que, além de alterar a geomorfologia, a sedimentação e a hidrodinâmica, proporciona uma disposição excessiva de material em suspensão na coluna d'água, afetando a biota, principalmente o plâncton.

O fitoplâncton tem sido frequentemente utilizado como bioindicadoras da qualidade da água e das mudanças ecológicas nos ecossistemas aquáticos, por ser sensível a vários estressores ambientais e responder rapidamente a mudanças na água¹⁵¹, inclusive para as atividades de remoção do sedimento^{152,153}.

As espécies *Nitzschia longissima*, *Nitzschia sigma* e *Gyrosigma balticum*, bem representativas e pertencentes ao ticoplâncton, apontam que a composição da comunidade fitoplanctônica, foi influenciada pela atividade de dragagem e intensa movimentação de grandes embarcações, ações constantes na porção interna e externa do porto de Suape.

Silva et al.²² constataram que, as remoções de material do fundo acumulado na Baía de

Suape, promoveram uma maior ressuspensão do sedimento, que limitou a produtividade fitoplanctônica e diminuiu a densidade da maioria dos grupos do zooplâncton, uma vez que esses organismos são considerados herbívoros. Enquanto Bezerra Júnior et al.²⁶, atribuíram a redução significativa do número de larvas de peixes, as dragagens e a intensa movimentação portuária que ocorrem na região.

Antes da instalação do porto, a composição da comunidade fitoplanctônica da Baía de Suape era constituída pelo grupo das diatomáceas, seguido pelas cianobactérias e clorofíceas. Os dinoflagelados e euglenofíceas ocorriam, porém sem representação significativa, sendo considerados esporádicos³³.

A atual estrutura do microfitoplâncton continua sendo representada pelo grupo das diatomáceas, entretanto são acompanhadas pelos dinoflagelados e cianobactérias, indicando que o desvio do fluxo dos rios Ipojuca e Merepe e as modificações geomorfológicas, que ocorreram na porção interna do porto de Suape, favoreceram as microalgas marinhas em detrimento das de água doce.

Segundo Lacerda et al.¹⁵⁴ em estuários tropicais o filo Bacillariophyta é o principal componente da flora planctônica, em virtude do caráter eurihalino, afinidade por ambientes com maior disponibilidade de nutrientes e por sua alta taxa de crescimento.

As cianobactérias que antes eram restritas ao estuário do rio Ipojuca, agora estão em maior número nos pontos externos do porto, sob a interferência da pluma desse rio, que no presente momento, flue por cima do recife de arenito, como ficou bem evidenciado pela aplicação do SIMPER, ao indicar que *Oscillatoria sp.* foi caracterizante dos pontos externos. O gênero *Oscillatoria* que já ocorria na área³³, aumentou sua participação, sendo considerada dominante.

O filo Dinophyta, que era previamente representado pelos gêneros *Ceratium* e *Dinophysis*³³, na época atual foram substituídos pelos menores representantes em tamanho, pertencentes ao gênero *Gymnodinium* e *Protoperdinium*.

Quanto a biomassa em carbono, os dinoflagelados foram os que mais contribuíram com o sistema estuarino de Suape, com destaque para a espécie *Gymnodinium sp.*, componente do pico e nanoplâncton (<20 µm), que segundo Tada et al.¹⁵⁵, estão mais aptos a absorver com maior eficiência os poucos nutrientes dissolvidos na água, em região oligotrófica.

Segundo Agawin et al.¹⁵⁶, o picoplâncton contribui com mais de 50% da biomassa e

produtividade primária em regiões estuarinas e oceânicas, pobres em nutrientes inorgânicos dissolvidos. Por outro lado, Cermeño et al.¹⁵⁷, constataram que os organismos fitoplancônicos pertencentes ao microplâncton, são fotossinteticamente mais eficientes em regiões eutróficas.

Protoperidinium é um gênero fitoplancônico de dinoflagelado marinho amplamente distribuído ao redor do mundo, com aproximadamente 268 espécies descritas¹⁵⁸, sendo que 66 destas foram registradas para o Brasil¹⁵⁹.

Os táxons pertencentes ao gênero *Protoperidinium*, são constantemente registrados nos ecossistemas costeiros de Pernambuco, como exemplo: Bastos⁷⁴ que relatou a dominância de *P. globulus* no estuário do rio Maracaípe, Jales et al.⁸⁴ que considerou *P. pellucidum* como muito frequente no sistema recifal de Serrambi e Machado et al.,⁷⁷ classificou *P. bispinum* como espécie bem representativa na zona costeira de Porto de Galinhas, os autores atribuem essas ocorrências a forte ação das marés.

De modo geral, a diversidade específica e equitabilidade na área estudada foram altas, com exceção de alguns pontos de amostragem, em virtude da dominância da diatomácea *Bacillaria paxillifera*. Segundo Pereira et al.¹⁶⁰ esta espécie é considerada r-estrategista, por apresentar um rápido crescimento, o que ocasiona a diminuição da diversidade na área. Além de ser oportunista, o alto grau de plasticidade em relação à salinidade, faz com que a referida espécie, esteja presente nos mais variados ambientes, como áreas costeiras e oceânicas¹⁴⁴.

A espécie *Pseudo-nitzschia pungens* classificada como planctônica marinha nerítica e cosmopolita, apresenta uma alta diversidade genética e morfológica^{161,162}, ademais produz o ácido domoico que atua como uma neurotoxina, responsável pelo envenenamento de mariscos¹⁶³. O seu crescimento acelerado pode causar ainda, uma série de problemas ambientais e de saúde pública¹⁶⁴.

Vale ressaltar que a referida microalga não foi detectada na área de estudo, antes da construção do porto³³, após instalação do CIPS, houve citação da sua presença, apenas de forma esporádica por^{7,38}. Enquanto que no presente trabalho, a espécie *P. pungens* participou de forma efetiva, sendo considerada abundante na Baía de Suape e adjacências.

Fato importante a mencionar é que, nas águas costeiras do estado de Pernambuco, várias pesquisas já mencionam a presença de espécies fitoplancônicas potencialmente tóxicas, capazes de provocar danos ecológicos e ao bem estar de humanos.

O florescimento de *Trichodesmium erythraeum*, nas praias de Tamandaré e Piedade¹⁶⁵, responsável pelo fenômeno das marés vermelhas. A dominância de *Ostreopsis Ovata*, no ecossistema recifal de Porto de Galinhas⁷⁷, espécie produtora da palitoxina, responsável pela alta mortalidade de organismos bentônicos, transtornos respiratórios e dermatológicos em seres humanos. Assim como *Microcystis aeruginosa*, em Barra das Jangadas¹⁶⁶, fabricante de toxinas responsáveis pela mortalidade organismos em massa e desestabilização da teia trófica aquática.

Em virtude da maior participação da espécie *P.pungens* na área portuária de Suape, há a necessidade de um constante monitoramento a fim de evitar um problema de saúde pública e ecológico.

CONCLUSÕES

Foram identificados 127 táxons, dentre os quais, o filo Bacillariophyta, esteve mais bem representado seguido pelo Miozoa e Cyanobacteria, onde as espécies *Bacillaria paxillifera*, *Oscillatora* sp., *Gymnodinium* sp., *Protoperdinium* sp.5 e *Pseudo-nitzschia pungens* se destacaram, pela dominância e abundância.

A abertura feita na linha de recife ocasionou uma forte intrusão marinha na Baía de Suape, alterando o seu regime de salinidade para eusalino e favorecendo os dinoflagelados, que aumentaram participação no ambiente. A espécie *Gymnodinium* sp foi considerada como a mais produtora da área, contribuindo com 32.40 % da biomassa em carbono total.

Por outro lado, o desvio do fluxo do rio Ipojuca, fez com que *Oscillatoria* sp., antes era restrita a região estuarina desse rio, agora ocorresse em maior número nos pontos externos do porto, sendo considerada dominante. A perda da comunicação do rio Ipojuca com a Baía de Suape e a forte ação marinha que se deu no local ocasionou também uma considerável diluição dos nutrientes e queda na produtividade fitoplanctônica, tornando o ambiente oligotrófico.

A presença de *Pseudo-nitzschia pungens* de forma abundante, requer um constante monitoramento ambiental na referida área, tendo em vista que o seu potencial tóxico, pode causar um florescimento algálico e provocar uma série de problemas ecológicos e de saúde pública.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nesse estudo demonstram que, no Complexo estuarino de Suape, a variação dos parâmetros hidrológicos e da flora planctônica, ocorreram devido à sazonalidade, ao movimento das marés e pelas intensas interferências advindas das atividades portuárias.

A abertura feita na linha de recifes, a perda da contribuição do rio Ipojuca e a redução dos índices pluviométricos provocaram uma mudança no regime de salinidade na Baía de Suape, sendo atualmente classificado como eusalino. Além disso, tais alterações na morfologia e hidrodinâmica do local resultaram na diluição dos nutrientes e consequentemente queda na produtividade fitoplanctônica, evidenciando a oligotrofia do sistema.

A flora planctônica do CIPS esteve composta por 127 táxons, agrupados nos filos Bacillariophyta (75,8%), Miozoa (14,17%), Cyanobacteria (7,08%), Chlorophyta (2,36%) e Euglenozoa (0,78%), onde as espécies *Bacillaria paxillifera*, *Oscillatoria* sp., *Gymnodinium* sp., *Protoperidinium* sp.5, e *Pseudo-nitzschia pungens* se destacaram como as mais representativas. As diatomáceas tiveram maior participação no período chuvoso relacionando-se diretamente com o nitrito e o silicato, enquanto os dinoflagelados no de estiagem com relação positiva com a temperatura e salinidade. Os dinoflagelados obtiveram uma maior participação no ambiente devido a maior intrusão marinha, em consequência da abertura dos recifes, destacando-se o *Gymnodinium* sp., que contribuiu com a maior biomassa em carbono.

Quanto ao aspecto ecológico das espécies fitoplanctônicas, 88.16% dos táxons foram considerados marinhos, das quais 32.25% foram ticoplanctônicos, evidenciando a forte influência marinha, as obras de dragagens e tráfegos de grandes embarcações. Já o desvio do rio Ipojuca favoreceu a *Oscillatoria* sp. que passou a ter maior distribuição na área portuária externa. A considerável participação da *Pseudo-nitzschia pungens* na zona portuária requer maiores cuidados, devido essa espécie ser considerada potencialmente tóxica. Portanto, recomenda-se a necessidade de um monitoramento ambiental a médio e longo prazo, para melhor avaliar as ações antrópicas e suas possíveis consequências.

REFERÊNCIAS

- 1 MUYLAERT, K.; SABBE, K.; VYVERMAN, W. Changes in phytoplankton diversity and community composition along the salinity gradient of the Schelde estuary (Belgium/The Netherlands). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [s.l.], v. 82, n. 2, p. 335–340, 2009.
- 2 QIU, D.; HUANG, L.; ZHANG, J.; LIN, S. Phytoplankton dynamics in and near the highly eutrophic Pearl River Estuary, South China Sea. **Continental Shelf Research**, [s.l.], v. 30, n. 2, p. 177–186, fev. 2010.
- 3 BEHRENFELD, M. J.; O'MALLEY, R. T.; SIEGEL, D. A.; MCCLAIN, C. R.; SARMIENTO, J. L.; FELDMAN, G. C.; MILLIGAN, A. J.; FALKOWSKI, P. G.; LETELIER, R. M.; BOSS, E. S. Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. **Nature**, [s.l.], v. 444, n. 7120, p. 752–755, dez. 2006.
- 4 PAERL, H. W.; ROSSIGNOL, K. L.; HALL, S. N.; PEIERLS, B. L.; WETZ, M. S. Phytoplankton Community Indicators of Short- and Long-term Ecological Change in the Anthropogenically and Climatically Impacted Neuse River Estuary, North Carolina, USA. **Estuaries and Coasts**, [s.l.], v. 33, n. 2, p. 485–497, fev. 2009.
- 5 JIANG, Z.; LIU, J.; CHEN, J.; CHEN, Q.; YAN, X.; XUAN, J.; ZENG, J. Responses of summer phytoplankton community to drastic environmental changes in the Changjiang (Yangtze River) estuary during the past 50 years. **Water Research**, [s.l.], v. 54, p. 1–11, mai. 2014.
- 6 GROVER, J. P.; CHRZANOWSKI, T. H. Seasonal dynamics of phytoplankton in two warm temperate reservoirs: association of taxonomic composition with temperature. **Journal of Plankton Research**, [s.l.], v. 28, n. 1, p. 1–17, jan. 2006.
- 7 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 Botanica Brasilica**, [s.l.], v. 16, n. 4, p. 407–420, out. 2002.
- 8 TORSTENSSON, A.; CHIERICI, M.; WULFF, A. The influence of increased temperature and carbon dioxide levels on the benthic/sea ice diatom *Navicula directa*. **Polar Biology**, [s.l.], v. 35, n. 2, p. 205–214, jul. 2011.
- 9 GUENTHER, M.; ARAÚJO, M.; FLORES-MONTES, M.; GONZALEZ-RODRIGUEZ, E.; NEUMANN-LEITÃO, S. Eutrophication effects on phytoplankton size-fractionated biomass and production at a tropical estuary. **Marine Pollution Bulletin**, [s.l.], v. 91, n. 2, p. 537–547, fev. 2015.
- 10 LI, G.; GAO, K.; YUAN, D.; ZHENG, Y.; YANG, G. Relationship of photosynthetic carbon fixation with environmental changes in the Jiulong River estuary of the South China Sea, with special reference to the effects of solar UV radiation. **Marine Pollution Bulletin**, [s.l.], v. 62, n. 8, p. 1852–1858, ago. 2011.

- 11 ALMEIDA, L. P. **Análise da efetividade dos estudos ambientais: O caso do Complexo Industrial Portuário de Suape**. 2003. 105 f. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- 12 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**, [s.l.], v. 58, n. 3, p. 189–205, set. 2010.
- 13 FERNANDES, L. M. B. **Avaliação dos ambientes recifais do litoral de Pernambuco, através das suas macro e mega faunas incrustantes e sedentárias**. 2000. F. 165. Tese (Doutorado) – IO - USP.
- 14 BARROS. **Modelagem da poluição pontual e difusa: aplicação do modelo Moneris à Bacia Hidrográfica do rio Ipojuca, Pernambuco**. 2008. 218 f. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociência, Recife.
- 15 BARCELLOS, R. L.; SANTOS, L. D. Histórico de impactos ambientais e o estado da arte em Oceanografia no sistema estuarino-lagunar de Suape-Ipojuca (PE). **Parcerias Estratégicas**, [s.l.], v. 23, p. 155–168, 46 2018.
- 16 MELO FILHO, J. A. S. **Caracterização da situação atual da área Programa Suape sob o ponto de vista de poluição ambiental**. Recife: CONDEPE, 1977. (Comunicação Técnica, 1).
- 17 LIMA, D. A. **O projeto Suape e sua vegetação**. Recife: CONDEPE, 1978. P. 18. (Comunicação técnica, 2).
- 18 LIMA, D. A.; COSTA, J. T. M. **Flora e vegetação terrestres da área Programa Suape**. Recife: CONDEPE, 1978. 24 p.
- 19 BRAGA, R. A. P.; MENEZES UCHOA, T. M. de; DUARTE, M. T. M. B. Impactos ambientais sobre o manguezal de Suape - PE. **Acta Botanica Brasilica**, [s.l.], v. 3, 2 suppl 1, p. 09–27, 1989.
- 20 NEUMANN-LEITÃO, S.; PARANAGUÁ, M. N.; VALENTIN, J. L. The planktonic rotifers of the estuarine lagunar complex of Suape (Pernambuco, Brazil). **Hydrobiologia**, [s.l.], v. 232, n. 2, p. 133–143, abr. 1992.
- 21 NEUMANN-LEITÃO, S. **Impactos antrópicos na comunidade zooplanctônica estuarina. Porto de Suape - PE - Brasil**. 1994. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos.
- 22 SILVA, A. P.; NEUMANN-LEITÃO, S.; SCHWAMBORN, R.; GUSMÃO, L. M. O.; SILVA, T. A. Mesozooplankton of an impacted bay in North Eastern Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, [s.l.], v. 47, n. 3, p. 485–493, jul. 2004.
- 23 PESSOA, V. T.; NEUMANN-LEITÃO, S.; GUSMÃO, L. M. O.; SILVA, A. P.; NETO, F. F. P. Comunidade zooplanctônica da Baía de Suape e nos estuários do rios

- Tatuoca e Massangana, Pernambuco (Brasil). **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, [s.l.], v. 4, 1 2009.
- 24 VASCONCELOS FILHO, A. D. L.; GUEDES, D. D. S.; SOBRINHO, D. G. Taxonomia e ecologia da fauna ictiológica da área de Suape (Pernambuco-Brasil). **Tropical Oceanography**, [s.l.], v. 21, n. 1, jun. 1990.
 - 25 SILVA, T. C. A.; SERBINO, I. S. L.; BETTO, M. N.; OLIVEIRA, A. G. L.; TEIXEIRA, S. F. Composição e estrutura da comunidade de peixes da praia de Suape/PE, presente nas algas a deriva. *in*: IX CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL. **Anais do IX Congresso de Ecologia do Brasil**. São Lourenço – MG: [s.n.], 2009.
 - 26 BEZERRA JUNIOR, J. L.; DIAZ, X. G.; NEUMANN-LEITÃO, S. Diversidade de larvas de peixes das áreas internas e externas do porto de SUAPE (Pernambuco, Brasil). **Tropical Oceanography**, [s.l.], v. 39, n. 1, jun. 2011.
 - 27 CAVALCANTI, L. B.; COELHO, P. A.; ESKINAZI-LEÇA, E. Condiciones ecológicas en el area de Suape (Pernambuco-Brasil). *in*: SEMINARIO sobre el Estudio Cientifico e Impacto Humano en el Ecosistema de Manglares. [S.l.: s.n.], 1980. P. 243–256.
 - 28 CONDEPE. **Caracterização do complexo estuarino-lagunar da área de Suape (Pernambuco-Brasil): síntese ecológica**. Recife: [s.n.], 1983. v. 1, p. 107.
 - 29 MUNIZ, K.; NETO, B. B.; MACÊDO, S. J.; FILHO, W. C. P. Hydrological Impact of the Port Complex of Suape on the Ipojuca River (Pernambuco-Brazil). **Journal of Coastal Research**, [s.l.], v. 215, p. 909–914, set. 2005.
 - 30 NASCIMENTO FILHO, G. A.; MONTES, M. J. F.; GASPAR, F. L.; PAULO, J. G.; FEITOSA, F. A. Eutrophication and water quality in a tropical estuary. **Journal of Coastal Research**, [s.l.], p. 7–12, 65 2013.
 - 31 SOUZA-SANTOS, L. P.; ARAÚJO, R. J. Water toxicity assessment in the Suape estuarine complex (PE-Brazil). **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**, [s.l.], v. 8, n. 1, p. 59–65, jul. 2013.
 - 32 ZANARDI-LAMARDO, E.; SCHETTINI, C. A. F.; VIEIRA-CAMPOS, A. A.; CABRAL, C. B.; SILVA, M. S. Intratidal variability and transport of petroleum aromatic hydrocarbons in an anthropized tropical estuarine system: the Suape estuary (8.4S 35W). **Brazilian Journal of Oceanography**, [s.l.], v. 66, n. 1, p. 47–57, mar. 2018.
 - 33 ESKINAZI-LEÇA, E. **Pesquisa em biologia marinha na área do projeto Suape**. [S.l.]: Relatório FInal, 1978. P. 6–62.
 - 34 ESKINAZI-LEÇA, E.; KOENING, M. L. Distribuição das diatomáceas (Bacillariophyceae) na área de Suape (Pernambuco-Brasil). **Tropical Oceanography**, [s.l.], v. 19, n. 1, jun. 1985.

- 35 KOENING, M. L.; ESKINAZI-LEÇA, E. Aspectos quantitativos do fitoplâncton na área estuarina de Suape (Pernambuco). *in*: ANAIS 4º Encontro Brasileiro de Plâncton. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 1991. P. 55–60.
- 36 KOENING, M. L.; ESKINAZI-LEÇA, E.; CARVALHO, F. D. A. T. D. Análise Ecológica da Diatomoflora do Estuário do Rio Ipojuca (Suape - Pernambuco - Brasil). **Tropical Oceanography**, [s.l.], v. 24, n. 1, jun. 1996.
- 37 KOENING, M. L.; LEÇA, E.-E.; NEUMANN-LEITÃO, S.; MACÊDO, S. J. Impacts of the construction of the Port of Suape on phytoplankton in the Ipojuca River estuary (Pernambuco-Brazil). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, [s.l.], v. 46, n. 1, p. 73–82, jan. 2003.
- 38 BORGES, G. C. P. **Comunidade fitoplanctônica do estuário do rio Massangana (Pernambuco-Brasil)**. 2011. 105 f. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- 39 ALVES, G.; FLORES-MONTES, M.; GASPAR, F.; GOMES, J.; FEITOSA, F. Eutrophication and water quality in a tropical Brazilian estuary. **Journal of Coastal Research**, [s.l.], v. 65, p. 7–12, jan. 2013.
- 40 BATISTA, T. N. F.; FLORES-MONTES, M. J. Estado trófico dos estuários dos rios Ipojuca e Merepe – PE. **Tropical Oceanography**, [s.l.], v. 42, n. 3, dez. 2014.
- 41 CORDEIRO, I. A.; FEITOSA, F. A. N.; MONTES, M. J. F.; OTSUKA, A. Y.; SILVA, A. C. Environmental conditions of the Suape estuarine-port complex area (Pernambuco, Brazil): phytoplankton biomass and hydrological parameters. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, [s.l.], v. 99, n. 2, p. 291–301, abr. 2018.
- 42 AZHIKODAN, G.; YOKOYAMA, K. Temporal and Spatial Variation of Mixing and Movement of Suspended Sediment in the Macrotidal Chikugo River Estuary. **Journal of Coastal Research**, [s.l.], v. 313, p. 680–689, mai. 2015.
- 43 BECK, M. W.; HECK, K. L.; ABLE, K. W.; CHILDERS, D. L.; EGGLESTON, D. B.; GILLANDERS, B. M.; HALPERN, B.; HAYS, C. G.; HOSHINO, K.; MINELLO, T. J.; ORTH, R. J.; SHERIDAN, P. F.; WEINSTEIN, M. P. The Identification, Conservation, and Management of Estuarine and Marine Nurseries for Fish and Invertebrates. **BioScience**, [s.l.], v. 51, n. 8, p. 633, 2001.
- 44 GEORGE, B.; KUMAR, J. I. N.; KUMAR, R. N. Study on the influence of hydro-chemical parameters on phytoplankton distribution along Tapi estuarine area of Gulf of Khambhat, India. **The Egyptian Journal of Aquatic Research**, [s.l.], v. 38, n. 3, p. 157–170, 2012.
- 45 VALADEZ-ROCHA, V.; ORTIZ-LOZANO, L. Spatial and Temporal Effects of Port Facilities Expansion on the Surface Area of Shallow Coral Reefs. **Environmental Management**, [s.l.], v. 52, n. 1, p. 250–260, jun. 2013.

- 46 DOUVEN, W. J. A. M.; BUURMAN, J. J. G.; KISWARA, W. Spatial information for coastal zone management: the example of the Banten Bay seagrass ecosystem, Indonesia. **Ocean and Coastal Management**, [s.l.], v. 46, n. 6-7, p. 615–634, jan. 2003.
- 47 CICIN-SAIN, B.; BELFIORE, S. Linking marine protected areas to integrated coastal and ocean management: A review of theory and practice. **Ocean and Coastal Management**, [s.l.], v. 48, n. 11-12, p. 847–868, jan. 2005.
- 48 LICURSI, M.; SIERRA, M. V.; GÓMEZ, N. Diatom assemblages from a turbid coastal plain estuary: Río de la Plata (South America). **Journal of Marine Systems**, [s.l.], v. 62, n. 1-2, p. 35–45, ago. 2006.
- 49 YANG, D.; WANG, F.; GAO, Z.; CHEN, Y.; XIE, L. An approach to the effect of physicochemical factors on primary production in the Changjiang estuary. **Advances Marine Science**, [s.l.], v. 24, p. 97–107, 2006.
- 50 ESKINAZI-LEÇA, E.; NEUMANN-LEITÃO, S.; COSTA M., F. **Oceanografia: Um Cenário Tropical**. [S.l.]: Editora Bagaço, 2004. 761 p.
- 51 HALL, N. S.; PAERL, H. W.; PEIERLS, B. L.; WHIPPLE, A. C.; ROSSIGNOL, K. L. Effects of climatic variability on phytoplankton community structure and bloom development in the eutrophic, microtidal, New River Estuary, North Carolina, USA. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [s.l.], v. 117, p. 70–82, jan. 2013.
- 52 ANDERSEN, J. H.; SCHLÜTER, L.; ÆRTEBJERG, G. Coastal eutrophication: recent developments in definitions and implications for monitoring strategies. **Journal of Plankton Research**, [s.l.], v. 28, n. 7, p. 621–628, jul. 2006.
- 53 SMITH, V. H. Using primary productivity as an index of coastal eutrophication: the units of measurement matter. **Journal of Plankton Research**, [s.l.], v. 29, n. 1, p. 1–6, out. 2006.
- 54 LEMOS, R. T. O.; CARVALHO, P. S. M.; ZANARDI-LAMARDO, E. Petroleum hydrocarbons in water from a Brazilian tropical estuary facing industrial and port development. **Marine Pollution Bulletin**, [s.l.], v. 82, n. 1-2, p. 183–188, mai. 2014.
- 55 REIS, T. N. V.; GUIMARÃES-BARROS, N. C.; VASCONCELOS, E. R. T. P. P.; COCENTINO, A. L. M.; FUJII, M. T. Influence of the industrial port complex of Suape (Western Tropical Atlantic) on the biodiversity and biomass of Phaeophyceae. **Tropical Oceanography**, [s.l.], v. 39, n. 2, dez. 2011.
- 56 COSTA, D. L.; SANTOS, A. M.; SILVA, A. F.; PADILHA, R. M.; NOGUEIRA, V. O.; WANDERLEI, E. B.; BÉLANGER, D.; GOMES, P. B.; PÉREZ, C. D. Biological Impacts of the Port Complex of Suape on Benthic Reef Communities (Pernambuco-Brazil). **Journal of Coastal Research**, [s.l.], v. 294, p. 362–370, mar. 2014.
- 57 HAZIN, F. H. V.; BURGESS, G. H.; CARVALHO, F. C. A shark attack outbreak off Recife, Pernambuco, Brazil: 1992-2006. **Bulletin of Marine Science**, [s.l.], v. 82, p. 199–212, 2 2008.

- 58 CHAPMAN, B. K.; MCPHEE, D. Global shark attack hotspots: Identifying underlying factors behind increased unprovoked shark bite incidence. **Ocean and Coastal Management**, [s.l.], v. 133, p. 72–84, dez. 2016.
- 59 NIMER, E. **Pluviometria e recursos hídricos dos estados de Pernambuco e Paraíba**. Rio de Janeiro: Suoren, 1979. 117 p.
- 60 MUEHE, D. **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 476 p.
- 61 NEUMANN-LEITÃO, S.; KOENING, M. L.; MACÊDO, S. J.; MEDEIROS, C.; MUNIZ, K.; FEITOSA, F. A. N. Plankton disturbance at Suape estuarine area - Pernambuco - Brazil after a port complex implantation. **Transactions on Ecology and the Environment**, [s.l.], v. 27, p. 47–56, 1999.
- 62 INMET. **Monitoramento das estações**. Edição: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 1 jan. 2018.
- 63 STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. A practical handbook of seawaters analysis. **Bulletin Fisheries Research Board of Canada**, [s.l.], v. 167, p. 207–211, 1972.
- 64 UNESCO. **International Oceanographic Tables**. Paris: United Nations Educational Scientific e Culture Organization - NIO, 1986. 193 p.
- 65 GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, K.; KREMLING, K. **Methods of Seawater Analysis**. 2. ed. [S.l.]: Wiley, 1983.
- 66 PAVLIDOU, A.; KONTOYIANNIS, H.; PSYLLIDOU-GIOURANOVITS, R. Trophic conditions and stoichiometric nutrient balance in the Inner Saronikos Gulf (Central Aegean Sea) affected by the psittalia sewage outfall. **Fresenius Environmental Bulletin**, [s.l.], v. 13, p. 1509–1514, 12 2004.
- 67 XU, J.; HO, A. Y. T.; YIN, K.; YUAN, X.; ANDERSON, D. M.; LEE, J. H. W.; HARRISON, P. J. Temporal and spatial variations in nutrient stoichiometry and regulation of phytoplankton biomass in Hong Kong waters: Influence of the Pearl River outflow and sewage inputs. **Marine Pollution Bulletin**, [s.l.], v. 57, n. 6-12, p. 335–348, jan. 2008.
- 68 UNESCO. **Determination of Photosynthetic Pigments in Sea Water: Report of SCOR-UNESCO, Working Group 17**. Paris: United Nations Education, 1966. 66 p.
- 69 PARSONS, T. R.; STRICKLAND, J. D. H. Discussion of spectrophotometric determination of marine-plant pigments, with revised equations for ascertaining chlorophyll a and carotenoids. **Journal of Marine Research**, [s.l.], v. 21, n. 3, p. 155–163, 1963.

- 70 STEEMANN-NIELSEN, E. The use of radioactive Carbon (^{14}C) for measuring organic production in the sea. **Journal du Conseil Permanent International pour L'Exploration de el Mer**, [s.l.], v. 18, p. 117–140, 2 1952.
- 71 TEIXEIRA, C. Introdução aos métodos para medir a produção primária do fitoplâncton marinho. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, [s.l.], v. 22, p. 59–92, 1973.
- 72 MAY, C. L.; KOSEFF, J. R.; LUCAS, L. V.; CLOERN, J. E.; SCHOELLHAMER, D. H. Effects of spatial and temporal variability of turbidity on phytoplankton blooms. **Marine Ecology Progress Series**, [s.l.], v. 254, p. 111–128, 2003.
- 73 HONORATO DA SILVA, M. **Estrutura e produtividade da comunidade fitoplanctônica de estuário tropical (Sirinhaém, Pernambuco, Brasil)**. 2009. F. 170. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- 74 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 Science and Technology**, [s.l.], v. 15, n. 1, p. 1, mai. 2011.
- 75 OTSUKA, A. Y.; FEITOSA, F. A. N.; FLORES-MONTES, M. J.; SILVA, A. Dynamics of Chlorophyll α and Oceanographic Parameters in the Coastal Zone: Barra das Jangadas-Pernambuco, Brazil. **Journal of Coastal Research**, [s.l.], v. 32, n. 3, p. 490, mai. 2016.
- 76 PASSAVANTE, J. Z. O.; FEITOSA, F. A. N. Dinâmica da Produtividade Fitoplanctônica na Zona Costeira Marinha. in: ESKINAZI-LEÇA, E.; NEUMANN-LEITÃO, S.; COSTA, M. F. (Ed.). **Oceanografia: Um Cenário tropical**. [S.l.]: Editora Bagaço, 2004. P. 425–440.
- 77 MACHADO, R. C. A.; FEITOSA, F. A. N.; KOENING, M. L.; JESUS, M.; BASTOS, R. B.; JALES, M. C. Phytoplankton Productivity and Hydrology of Porto de Galinhas Reef Ecosystem (Pernambuco, Brazil). **Journal of Coastal Research**, [s.l.], v. 294, p. 371–378, mar. 2014.
- 78 SIERRA, J. P.; SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; RÍO, J. G. D.; FLOS, J.; MOVELLÁN, E.; MÖSSO, C.; MARTÍNEZ, R.; RODILLA, M.; FALCO, S.; ROMERO, I. Spatial distribution of nutrients in the Ebro estuary and plume. **Continental Shelf Research**, [s.l.], v. 22, n. 2, p. 361–378, jan. 2002.
- 79 SANTOS JÚNIOR, A. C.; MONTES, M. J. F. Frações orgânicas de carbono, fósforo e nitrogênio em estuários do complexo industrial Portuário de Suape, Pernambuco, Brasil. **Tropical Oceanography**, [s.l.], v. 42, n. 1, jun. 2014.
- 80 GARDNER, L. R.; KJERFVE, B. Tidal fluxes of nutrients and suspended sediments at the North Inlet-Winyah Bay National Estuarine Research Reserve. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [s.l.], v. 70, n. 4, p. 682–692, dez. 2006.

- 81 MACÊDO, S. J. D.; COSTA, K. M. P. Estudo Ecológico da Região de Itamaracá, Pernambuco - Brasil. XXIII. Condições Hidrológicas do Estuário do Rio Botafogo. **Tropical Oceanography**, [s.l.], v. 17, n. 1, 1972.
- 82 MAFALDA JR., P. O.; SINQUE, C.; BRITO, R. R. C.; SANTOS, J. J. Biomassa planctônica, hidrografia e pluviosidade na costa norte da Bahia, Brasil. **Tropical Oceanography**, [s.l.], v. 32, n. 2, dez. 2004.
- 83 FEITOSA, F. A. N.; BASTOS, R. B. Produtividade fitoplanctônica e hidrologia do ecossistema costeiro de Maracajaú - RN. **Arquivos de Ciências do Mar**, [s.l.], v. 42, p. 26–36, 2 2007.
- 84 JALES, M. C.; FEITOSA, F. A. D. N.; KOENING, M. L.; BASTOS, R. B.; MACHADO, R. C. D. A. O ecossistema recifal de Serrambi (Nordeste do Brasil): biomassa fitoplanctônica e parâmetros hidrológicos. **Atlântica**, [s.l.], v. 34, n. 2, p. 87–102, out. 2012.
- 85 CONAMA. **Classification of the Water Bodies and Environmental Guildelines**. Brasília: National Council of the Environmental, 2005.
- 86 RESSURREIÇÃO, M. G.; PASSAVANTE, J. Z. D. O.; MACÊDO, S. J. Estudo da Plataforma Continental na Área do Recife (Brasil): Variação Sazonal da Biomassa Fitoplanctônica (08° 03' 38" Lat.S 34° 42' 28" A 34° 52' 00" Long.W). **Tropical Oceanography**, [s.l.], v. 24, n. 1, jun. 1996.
- 87 GREGO, C. K. S.; FEITOSA, F. A. N.; SILVA, M. H.; GLÓRIA GONÇALVES SILVA CUNHA, M. da; FILHO, G. A. N. Fitoplâncton do ecossistema estuarino do rio Ariquindá (Tamandaré, Pernambuco, Brasil): Variáveis ambientais, biomassa e produtividade primária. **Atlântica**, [s.l.], v. 31, n. 2, p. 183–198, 2009.
- 88 GREGO, C. K. D. S.; FEITOSA, F. A. D. N.; CUNHA, M. D. G. G. S.; SILVA, M. H. D.; NUNES, R. V. Produtividade Fitoplanctônica em um estuário impactado do litoral norte de Pernambuco - rio Timbó (Paulista). **Tropical Oceanography**, [s.l.], v. 44, n. 1, nov. 2016.
- 89 LOSADA, A. P. D. M.; FEITOSA, F. A. D. N.; LINS, I. C. Variação Sazonal e Espacial da Biomassa Fitoplanctônica nos Estuários dos Rios Ilhetas e Mamucaba (Tamandaré-PE). **Tropical Oceanography**, [s.l.], v. 31, n. 1, jun. 2003.
- 90 AZEVEDO, A. C. G.; FEITOSA, F. A. N.; KOENING, M. L. Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais no Golfão Maranhense, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, [s.l.], v. 22, n. 3, p. 870–877, set. 2008.
- 91 VOLLENWEIDER, R. A.; KERKES, J. Eutrophication of waters: monitoring, assessment and control. *in*: OECD (Ed.). **Report of the cooperative program on Eutrophication**. Paris: Organization for the Economic Development e Cooperation, 1982. P. 156.

- 92 SOUSA, E. B.; COSTA, V. B.; PEREIRA, L. C. C.; COSTA, R. M. Variação temporal do fitoplâncton e dos parâmetros hidrológicos da zona de arrebentação da Ilha Canela (Bragança, Pará, Brasil). **Acta Botanica Brasilica**, [s.l.], v. 23, n. 4, p. 1084–1095, dez. 2009.
- 93 COSTA, L. S.; HUSZAR, V. L. M.; OVALLE, A. R. Phytoplankton Functional Groups in a Tropical Estuary: Hydrological Control and Nutrient Limitation. **Estuaries and Coasts**, [s.l.], v. 32, n. 3, p. 508–521, fev. 2009.
- 94 NORIEGA, C. D.; COSTA, K. M. P.; FEITOSA, F. A. N.; FLORES-MONTES, M. J.; GREGO, C. K. S.; SOARES, G. S. S.; SILVA, H. P. Distribuição espacial da biomassa fitoplanctônica e sua relação com os nutrientes, no sistema estuarino de Barra das Jangadas (Pernambuco – Brasil). **Arquivo de Ciências do Mar**, [s.l.], v. 88, p. 5–18, 2005.
- 95 OTSUKA, A. Y.; FEITOSA, F. A. N.; MONTES, M. J. F.; SILVA, A. C. Influence of fluvial discharge on the dynamics of Chlorophyll- α in the continental shelf adjacent to the Recife Port Basin (Pernambuco-Brazil). **Brazilian Journal of Oceanography**, [s.l.], v. 66, n. 1, p. 91–103, mar. 2018.
- 96 SANTOS, T. G.; BEZERRA JUNIOR, J. L.; COSTA, K. M. P.; FEITOSA, F. A. N. Dinâmica da biomassa fitoplanctônica e variáveis em um estuário tropical (Bacia do Pina, Recife, PE). **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, [s.l.], v. 4, p. 95–109, 1 2009.
- 97 TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Produção orgânica em ecossistemas aquáticos. **Ciência e Cultura**, [s.l.], v. 28, p. 864–887, 8 1976.
- 98 MOURA, R. T. **Biomassa, produção primária do fitoplâncton e alguns fatores ambientais na baía de Tamandaré, Rio Formoso, Pernambuco Brasil**. 1991. F. 290. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- 99 PASSAVANTE, J. Z. O.; FEITOSA, F. A. N. Produção primária do fitoplâncton da plataforma continental de Pernambuco (Brasil): área de Piedade. **Boletim Técnico Científico do CEPENE**, [s.l.], v. 3, p. 7–22, 1 1995.
- 100 FEITOSA, F. A. D. N.; PASSAVANTE, J. Z. D. O. Variação sazonal de biomassa primária do fitoplâncton da Bacia do Pina (Recife, Pernambuco, Brasil). **Tropical Oceanography**, [s.l.], v. 21, n. 1, jun. 1990.
- 101 VOLLENWEIDER, R. A.; TALLING, J. F.; WESTLAKE, D. F. **A Manual in Method for Measuring Primary Production in Aquatic Environments**. Oxford, UK: International Biological Program Handbook, 1974. P. 225.
- 102 NEUMANN-LEITÃO, S.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Dynamics of a perturbed estuarine zooplanktonic community: Port of Suape, PE, Brazil. **SIL Proceedings, 1922-2010**, [s.l.], v. 26, n. 4, p. 1981–1988, mai. 1998.
- 103 PARANAGUÁ, M. N. Zooplankton of the Suape area (Pernambuco-Brazil). **Tropical Oceanography**, [s.l.], v. 19, n. 1, jun. 1985.

- 104 MOTTA, E. J. O.; CARVALHO, A. S. C. Complexo Industrial-Portuário de Suape e suas consequências para a pesca no litoral de Pernambuco. **Cadernos Ômega**, [s.l.], v. 3, p. 227–232, 1–2 1979.
- 105 SPATHARIS, S.; TSIRTSIS, G.; DANIELIDIS, D. B.; CHI, T. D.; MOUILLOT, D. Effects of pulsed nutrient inputs on phytoplankton assemblage structure and blooms in an enclosed coastal area. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [s.l.], v. 73, n. 3-4, p. 807–815, jul. 2007.
- 106 ZHOU, M.-J.; SHEN, Z.-L.; YU, R.-C. Responses of a coastal phytoplankton community to increased nutrient input from the Changjiang (Yangtze) River. **Continental Shelf Research**, [s.l.], v. 28, n. 12, p. 1483–1489, jul. 2008.
- 107 HAYS, G.; RICHARDSON, A.; ROBINSON, C. Climate change and marine plankton. **Trends in Ecology and Evolution**, [s.l.], v. 20, n. 6, p. 337–344, jun. 2005.
- 108 CHELLAPPA, N. T.; CÂMARA, F. R. A.; ROCHA, O. Phytoplankton community: indicator of water quality in the Armando Ribeiro Gonçalves Reservoir and Pataxó Channel, Rio Grande do Norte, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, [s.l.], v. 69, n. 2, p. 241–251, mai. 2009.
- 109 CARSTENSEN, J.; KLAIS, R.; CLOERN, J. E. Phytoplankton blooms in estuarine and coastal waters: Seasonal patterns and key species. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [s.l.], v. 162, p. 98–109, set. 2015.
- 110 WINDER, M.; SOMMER, U. Phytoplankton response to a changing climate. *in*: PHYTOPLANKTON responses to human impacts at different scales. [S.l.]: Springer Netherlands, 2012. P. 5–16. DOI: 10.1007/978-94-007-5790-5_2, 10.
- 111 MADHU, N. V.; MARTIN, G. D.; HARIDEVI, C. K.; NAIR, M.; BALACHANDRAN, K. K.; ULLAS, N. Differential environmental responses of tropical phytoplankton community in the southwest coast of India. **Regional Studies in Marine Science**, [s.l.], v. 16, p. 21–35, nov. 2017.
- 112 SHEN, P.-P.; LI, G.; HUANG, L.-M.; ZHANG, J.-L.; TAN, Y.-H. Spatio-temporal variability of phytoplankton assemblages in the Pearl River estuary, with special reference to the influence of turbidity and temperature. **Continental Shelf Research**, [s.l.], v. 31, n. 16, p. 1672–1681, out. 2011.
- 113 GAO, X.; SONG, J. Phytoplankton distributions and their relationship with the environment in the Changjiang Estuary, China. **Marine Pollution Bulletin**, [s.l.], v. 50, n. 3, p. 327–335, mar. 2005.
- 114 HARNSTROM, K.; KARUNASAGAR, I.; GODHE, A. Phytoplankton species assemblages and their relationship to hydrographic factors – a study at old port in Mangalore, coastal Arabian Sea. **Indian Journal of Marine Sciences**, [s.l.], v. 38, p. 224–234, 2 2009. ISSN 0975-1033. Disponível em: <http://nopr.niscair.res.in/handle/123456789/4673>.

- 115 RAMOS-PORTO, M.; LIMA, J. T. Estudos dos crustáceos decápodos da baía de Suape, Pernambuco. **Anais da Sociedade Nordestina de Zoologia**, [s.l.], v. 1, p. 54, 1 1983.
- 116 PAIVA, A. C. G. D.; ARAÚJO, M. E. D. Environmental characterization and spatial distribution of fish fauna in estuaries in the State of Pernambuco, Brazil. **Tropical Oceanography**, [s.l.], v. 38, n. 1, abr. 2010.
- 117 UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik: Mit 1 Tabelle und 15 abbildungen im Text und auf 1 Tafel. **Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Mitteilungen**, [s.l.], v. 9, p. 1–38, 1 1958.
- 118 PERAGALLO, H.; PERAGALLO, M. **Diatomeés marines de France et des districts maritimes voisins**. [S.l.]: Paris, 1897. v. 1, p. 586. DOI: 10.5962/bhl.title.68918.
- 119 BALECH, E. **Los dinoflagelados del Atlantico Sudoccidental**. Madrid: Ministério de Agricultura Pesca y Alimentacion, 1988. 310 p. (Publicaciones Especiales Instituto Español de Oceanografia).
- 120 HUSTEDT, F. **Die Kieselalgen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz unter Berücksichtigung der übrigen Länder Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete**. [S.l.]: Leipzig: Akademische verlagsgesellschaft, 1930. v. 7.1. (Kriptogamen-Flora von Deutschlands, Österreichs und der Schweiz).
- 121 _____. [S.l.]: Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geesr e Portig K-G, 1959. v. 7.2. (L. Rabenhorst, Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz, 1–6).
- 122 _____. [S.l.]: Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geesr e Portig K-G, 1961. v. 7.3. (L. Rabenhorst, Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz, 1–4).
- 123 CUPP, E. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. **UC San Diego: Library – Scripps Digital Collection**, [s.l.], v. 6, p. 1–237, 1943. Disponível em: <https://escholarship.org/uc/item/922945w8>.
- 124 DESIKACHARY, T. V. **Cyanophyta**. New Delhi: Indian Council of Agricultural Research, 1959. 686 p.
- 125 SOURNIA, A. **Atlas du phytoplancton marin: introduction, Cyanophycées, Dictyochophycées, Dinophycées et Raphidophycées**. Paris: Centre National de la Recherche Scientifique, 1986. v. 1. 220 p.
- 126 SILVA-CUNHA, M. G. G.; ESKINAZI-LEÇA, E. **Catálogo das diatomáceas (Bacillariophyceae) da plataforma continental de Pernambuco**. Recife: SUDENE, 1990. 318 p.
- 127 HOPPENRATH, M.; ELBRÄCHTER, M.; DREBES, G. **Marine phytoplankton: selected microphytoplankton species from the North Sea around Helgoland and Sylt**. [S.l.]: Kleine Senckeberg-Reihe, 2009. 49 p.

- 128 GUIRY, M. D.; GUIRY, G. M. **AlgaeBase**. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2019. Disponível em: <http://www.algaebase.org>. Acesso em: 15 jul. 2019.
- 129 LOBO, E.; LEIGHTON, G. Estructuras comunitarias de las fitocenosis planctonicas de los sistemas de desembocaduras de ríos y esteros de la zona central de Chile. **Revista de Biología Marina y Oceanografía**, [s.l.], v. 22, p. 1–29, 1986.
- 130 HILLEBRAND, H.; DÜRSELEN, C.-D.; KIRSCHTEL, D.; POLLINGER, U.; ZOHARY, T. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. **Journal of Phycology**, [s.l.], v. 35, n. 2, p. 403–424, abr. 1999.
- 131 SUN, J. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. **Journal of Plankton Research**, [s.l.], v. 25, n. 11, p. 1331–1346, nov. 2003.
- 132 VADRUCI, M. R.; CABRINI, M.; BASSET, A. Biovolume determination of phytoplankton guilds in transitional water ecosystems of Mediterranean Ecoregion. **Transitional Waters Bulletin**, [s.l.], v. 2, p. 83–102, 2007.
- 133 MENDEN-DEUER, S.; LESSARD, E. J. Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms, and other protist plankton. **Limnology and Oceanography**, [s.l.], v. 45, n. 3, p. 569–579, abr. 2000.
- 134 VERITY, P. G.; ROBERTSON, C. Y.; TRONZO, C. R.; ANDREWS, M. G.; NELSON, J. R.; SIERACKI, M. E. Relationships between cell volume and the carbon and nitrogen content of marine photosynthetic nanoplankton. **Limnology and Oceanography**, [s.l.], v. 37, n. 7, p. 1434–1446, nov. 1992.
- 135 MATEUCCI, S. D.; COLMA, A. La metodología para el estudio de la vegetación. **Serie Biología**, [s.l.], v. 22, p. 1–168, 1982.
- 136 SHANNON, C. E. A mathematical theory of communication. **Bulletin of System Technology Journal**, [s.l.], v. 27, p. 379–423, 1948.
- 137 VALENTIN, J. L. **Ecologia numérica: uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2000. P. 107.
- 138 PIELOU, E. C. **Mathematical ecology**. New York: Wiley, 1977. 385 p.
- 139 MARGALEF, R. **Perspectives in ecological theory**. Chicago, IL: The University of Chicago Press, 1958. P. 300.
- 140 VALENTIN, J. L.; MACÊDO-SAIDAH, F.; TENENBAUM, D. R.; SEIVA, N. L. A. Diversidade específica para análise das sucessões fitoplanctônicas. Aplicação ao Ecossistema de ressurgência de Cabo Frio (RJ). **Nerítica**, [s.l.], v. 6, p. 7–26, 1991.
- 141 MOREIRA FILHO, H.; VALENTE-MOREIRA, I. M.; SOUZA-MOSMANN, R. M.; CUNHA, J. A. Avaliação taxonômica e ecológica das diatomáceas

- (Chrysophyta-Bacillariophyceae) marinha e estuarinas nos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. **Estudos de Biologia**, [s.l.], v. 25, p. 5–48, 1990.
- 142 MOREIRA-FILHO, H.; ESKINAZI-LEÇA, E.; VALENTE-MOREIRA, I. M.; CUNHA, J. A. Avaliação taxonômica e ecológica das diatomáceas (Chrysophyta - Bacillariophyceae) marinhas e estuarinas nos estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí, Maranhão, Pará e Amapá, Brasil. **Tropical Oceanography**, [s.l.], v. 27, n. 1, jun. 1999.
 - 143 TORGAN, L. C.; BIANCAMANO, M. I. Catálogo das diatomáceas (Bacillariophyceae) referidas para o estuário do Rio Grande do Sul, Brasil, no período de 1973–1990. **Série Botânica**, [s.l.], v. 3, p. 1–201, 1991.
 - 144 SILVA-CUNHA, M. G. G.; KOENING, M. L.; ESKINAZI-LEÇA, E.; OLIVEIRA, M. G. T. **Biodiversidade marinha da Bacia Potiguar/RN**. Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2019. 164 p.
 - 145 CLOERN, J. E.; JASSBY, A. D. Patterns and Scales of Phytoplankton Variability in Estuarine-Coastal Ecosystems. **Estuaries and Coasts**, [s.l.], v. 33, n. 2, p. 230–241, 2009.
 - 146 GREGO, C. K. D. S.; FEITOSA, F. A. D. N.; SILVA, M. H. D.; MONTES, M. D. J. F. Distribuição espacial e sazonal da clorofila a fitoplanctônica e hidrologia do estuário do rio Timbó (Paulista – PE). **Tropical Oceanography**, [s.l.], v. 32, n. 2, dez. 2004.
 - 147 HONORATO DA SILVA, M.; CUNHA GLÓRIA GONÇALVES SILVA, M.; 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 Botanica Brasilica**, [s.l.], v. 23, n. 2, p. 355–368, jun. 2009.
 - 148 SUAPE. **Histórico de Suape**. Edição: SUAPE. 2019. Disponível em: <http://www.suape.pe.gov.br/pt/institucional/historico-de-suape>.
 - 149 KITSIOU, D.; KARYDIS, M. Development of categorical mapping for quantitative assessment of eutrophication. **Journal of Coastal Conservation**, [s.l.], v. 4, n. 1, p. 35–42, dez. 1998.
 - 150 ZHOU, W.; GAO, J.; LIAO, J.; SHI, R.; LI, T.; GUO, Y.; LONG, A. Characteristics of Phytoplankton Biomass, Primary Production and Community Structure in the Modaomen Channel, Pearl River Estuary, with Special Reference to the Influence of Saltwater Intrusion during Neap and Spring Tides. Edição: Guoqi Han. **PLOS ONE**, [s.l.], v. 11, n. 12, e0167630, dez. 2016.
 - 151 LI, K.; HUANG, L.; ZHANG, J.; YIN, J.; LUO, L. Characteristics of phytoplankton community in the Pearl River Estuary during saline water intrusion period. **Journal Tropical Oceanography**, [s.l.], v. 29, p. 62–68, 1 2010.
 - 152 WANG, Y.; ZHANG, W.; LUO, Y.; WANG, D.; XU, T.; PAN, X. Phytoplankton Investigation and Environmental Assessment for Dredged Area in Caohai Section of Dianchi Lake, China. *in*: 2ND International Conference on Remote Sensing,

- Environment and Transportation Engineering. [S.l.]: IEEE, jun. 2012. DOI: 10.1109/rsete.2012.6260655, 10.
- 153 XU, T.; PAN, X. J. Phytoplankton Investigation and Environmental Assessment for Dredged Area in Daqing Estuary Section of Dianchi Lake, China. **Applied Mechanics and Materials**, [s.l.], v. 295-298, p. 726–729, fev. 2013.
 - 154 LACERDA, S. R.; KOENING, M. L.; NEUMANN-LEITÃO, S.; FLORES-MONTES, M. J. Phytoplankton nyctemeral variation at a tropical river estuary (Itamaracá - Pernambuco - Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, [s.l.], v. 64, n. 1, p. 81–94, fev. 2004.
 - 155 TADA, K. Size-fractionated phytoplankton biomass in coral reef waters off Sesoko Island, Okinawa, Japan. **Journal of Plankton Research**, [s.l.], v. 25, n. 8, p. 991–997, ago. 2003.
 - 156 AGAWIN, N. S. R.; DUARTE, C. M.; AGUSTÍ, S. Nutrient and temperature control of the contribution of picoplankton to phytoplankton biomass and production. **Limnology and Oceanography**, [s.l.], v. 45, n. 3, p. 591–600, abr. 2000.
 - 157 CERMEÑO, P.; MARAÑÓN, E.; RODRÍGUEZ, J.; FERNÁNDEZ, E. Large-sized phytoplankton sustain higher carbon-specific photosynthesis than smaller cells in a coastal eutrophic ecosystem. **Marine Ecology Progress Series**, [s.l.], v. 297, p. 51–60, 2005.
 - 158 GÓMEZ, F. Problematic Biases in the Availability of Molecular Markers in Protists: The Example of the Dinoflagellates. **Acta Protozoológica**, [s.l.], v. 52, p. 21–33, 2012.
 - 159 ODEBRECHT, C.; CARDOSO, L. D. S.; MENEZES, M. **Dinophyceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. [S.l.]: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015.
 - 160 PEREIRA, L. C. C.; JIMÉNEZ, J. A.; KOENING, M. L.; NETO, F. F. P.; MEDEIROS, C.; COSTA, R. M. Effect of coastline properties and wastewater on plankton composition and distribution in a stressed environment on the north coast of Olinda-PE (Brazil). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, [s.l.], v. 48, n. 6, p. 1013–1026, nov. 2005.
 - 161 HASLE, G. R. Are most of the domoic acid-producing species of the diatom genus *Pseudo-nitzschia* cosmopolites? **Harmful Algae**, [s.l.], v. 1, p. 137–146, 2 jun. 2002.
 - 162 CASTELEYN, G.; CHEPURNOV, V. A.; LELIAERT, F.; MANN, D. G.; BATES, S. S.; LUNDHOLM, N.; RHODES, L.; SABBE, K.; VYVERMAN, W. *Pseudo-nitzschia pungens* (Bacillariophyceae): A cosmopolitan diatom species? **Harmful Algae**, [s.l.], v. 7, n. 2, p. 241–257, fev. 2008.
 - 163 BATES, S. S. Domoic-acid-producing diatoms: another genus added! **Journal of Phycology**, [s.l.], v. 36, n. 6, p. 978–983, dez. 2000.

- 164 BATES, S. S.; TRAINER, V. L. The ecology of harmful diatoms. *in*: GRANÉLI, E.; TUNER, J. (Ed.). **Ecology of Harmful Algae**. Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. P. 81–93.
- 165 SATÔ, S.; PARANAGUÁ, M. N.; ESKINAZI, E. On the Mecanism of Red Tide of *Trichodesmium* in Recife Northeastern Brazil, with Some Considerations of the Relation to the Human Disease "Tamandaré Fever". **Tropical Oceanography**, [s.l.], v. 5, n. 1, jun. 1963.
- 166 XAVIER, A. S.; NORIEGA, C.; KOENING, M. L.; FLORES-MONTES, M. J.; ARAÚJO, M. Distribution of Nutrients and Changes in Phytoplankton Composition in a Tropical Mesotidal Estuary, Northeastern Brazil. **Open Journal of Ecology**, [s.l.], v. 7, p. 460–493, 2017.