



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

VINÍCIUS PADILHA CORDEIRO DE CARVALHO

**DINÂMICA DO FITOPLÂNCTON EM RESPOSTA AS FORÇANTES
OCEANOGRÁFICAS NO ARQUIPÉLAGO DE SÃO PEDRO E SÃO PAULO,
NORDESTE, BRASIL**

Recife

2024

VINÍCIUS PADILHA CORDEIRO DE CARVALHO

**DINÂMICA DO FITOPLÂNCTON EM RESPOSTA AS FORÇANTES
OCEANOGRÁFICAS NO ARQUIPÉLAGO DE SÃO PEDRO E SÃO PAULO,
NORDESTE, BRASIL**

TCC apresentado ao Curso de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Oceanografia.

Orientador(a): Profa. Dra. Maria da Glória
Gonçalves da Silva Cunha

Coorientador(a): Dra. Gislayne Cristina
Palmeira Borges

Recife

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Carvalho, Vinicius Padilha Cordeiro de.

Dinâmica do fitoplâncton em resposta as forçantes oceanográficas no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Nordeste, Brasil / Vinicius Padilha Cordeiro de Carvalho. - Recife, 2024.

65 p. : il.

Orientador(a): Maria da Glória Golçalves da Silva-Cunha

Coorientador(a): Gislayne Cristina Palmeira Borges

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Oceanografia - Bacharelado, 2024.

1. Fitoplâncton. 2. Dinâmica oceânica. 3. Arquipélago. 4. Nutrientes. 5. Biomassa. I. Silva-Cunha, Maria da Glória Golçalves da. (Orientação). II. Borges, Gislayne Cristina Palmeira . (Coorientação). IV. Título.

550 CDD (22.ed.)

Vinícius Padilha Cordeiro de Carvalho

**DINÂMICA DO FITOPLÂNCTON EM RESPOSTA A FORÇANTES
OCEANOGRÁFICAS NO ARQUIPÉLAGO DE SÃO PEDRO E SÃO PAULO,
NORDESTE, BRASIL**

TCC apresentado ao Curso de Oceanografia da
Universidade Federal de Pernambuco, Centro
de Tecnologia e Geociências, como requisito
para a obtenção do título de bacharel em
Oceanografia.

Aprovado em: 08/02/2024.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria da Glória Gonçalves da Silva Cunha
(Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Dra. Gislayne Cristina Palmeira Borges
(Coorientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

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

Dr. Leandro Cabanez Ferreira (Examinador Titular)
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores Montes (Examinador Suplente)
Universidade Federal de Pernambuco

A minha família, em especial aos meus pais, Antônio e Ana Lúcia, pelo amor, carinho e esforço na minha criação, dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à Universidade Federal de Pernambuco e ao Departamento de Oceanografia, em nome de seus chefes Prof. Dr. Jesser Fidelis de Souza Filho e Prof. Dr. Jose Souto Rosa Filho, por propiciarem suporte estrutural e técnico, permitindo a utilização de todas as suas dependências.

Ao projeto CarPriMa, na pessoa do Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores Montes, por todo o suporte fornecido para a realização da coleta e a Marinha do Brasil por toda a estrutura fornecida em campo.

À Profa. Dra. Maria da Glória Gonçalves da Silva Cunha pela orientação, ensinamentos, incentivo, carinho, sugestões, cuidado e por ter contribuído efetivamente para minha formação pessoal, social e acadêmica. Obrigado por tudo e por ser sempre um porto seguro.

À Dra. Gislayne Cristina Palmeira Borges pela coorientação, ensinamentos, por ter contribuído efetivamente na minha jornada científica e especialmente por ter ajudado sempre que eu precisei. Você foi peça fundamental na minha trajetória acadêmica

Ao Laboratório de Fitoplâncton (LabFito) por toda a ajuda, Ao Laboratório de Química (LoQuim), em especial ao Dr. Jamerson Freitas pelo apoio durante as análises de nutrientes, e ao Laboratório de Zooplâncton (LabZoo), em especial ao Prof. Dr. Ralf Schwamborn pelo apoio para a realização das coletas.

A todos os professores do Departamento de Oceanografia, em especial aos que fazem parte do Laboratório de Fitoplâncton (Dra. Maria da Glória Gonçalves da Silva Cunha, Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa e Dr. Pedro Augusto Mendes de Castro Melo) por todos os momentos de conhecimento e aprendizado durante a minha formação.

Aos funcionários e aos técnicos do Departamento de Oceanografia por todas as risadas durante o cafezinho e por toda a ajuda desde o início da minha graduação.

Ao Dr. Leandro Cabanez Ferreira pela amizade, pelo apoio e por todos os devaneios e conversas sobre assuntos diversos. Não tenho palavras para agradecer tudo o que você fez por mim e por todos os puxões de orelha quando foi necessário.

Aos meus amigos de laboratório por todos os conhecimentos, experiências trocadas e risadas diárias durante toda a minha jornada na universidade. Vocês são as melhores pessoas que eu poderia ter conhecido durante um momento tão importante na minha vida.

Aos amigos que cultivei durante a graduação, vocês são maravilhosos.

Ao Kaio Farias, pelo auxílio na parte estatística e também por estar presente sempre me ouvindo e me apoiando. Obrigado por terem entrado na minha vida e obrigado por deixar tudo mais colorido.

Aos meus pais, Antônio Cordeiro e Ana Lúcia Padilha, que tanto se esforçaram por mim, sempre apoiaram as minhas decisões e por me ensinarem tudo o que eu sei. Ao meu irmão,

Matheus Padilha, por todo o companheirismo. À minha Tia, Lindalva Padilha, e aos meus primos por fazerem parte dessa jornada junto comigo. Amo vocês!

À Deus por ser tão amável comigo e por ter me permitido chegar até aqui com ânimo para continuar minha trajetória.

“O que tiver de acontecer, acontece, e não vou perder tempo de vida a preocupar-me com isso. A infelicidade vai sempre ao encontro de quem a espera. O truque é encontrar felicidade nos breves intervalos entre os desastres.”

Christopher Paolini

RESUMO

A área no entorno do arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) (0°56'2"N e 29°20'6" W) foi investigada, com o objetivo de caracterizar a estrutura da comunidade fitoplanctônica, seus padrões de distribuição horizontal, quantificar a biomassa através da clorofila a e correlacionar a interação entre as variáveis ambientais e o fitoplâncton. Uma expedição foi realizada a bordo do navio "Alpha", entre os dias 08 e 14 de Junho de 2023, durante a estação chuvosa da região. Foram estabelecidos dois pontos de coleta (Leste e Oeste) no entorno do arquipélago, de acordo com o sentido da Corrente Equatorial do Sul, e determinadas três profundidades de coleta (superfície, topo da termoclina e 200 metros) em dois turnos (diurno e noturno). Utilizou-se uma rede cilindro-cônica com malha de 20 µm de abertura para arrastos horizontais subsuperficiais e garrafas de Niskin para as coletas de amostras quali-quantitativas do fitoplâncton e parâmetros físico-químicos. Foi verificada a existência de uma termoclina entre 40 e 65 metros de profundidade. Um total de 33 espécies de organismos fitoplanctônicos foi identificado pertencentes a três filós (Dinophyta, Bacillariophyta e Cyanobacteria). Em relação ao filo Dinophyta, apesar de terem apresentado um maior número de espécies, tiveram baixa abundância durante o período amostrado, sendo *Prorocentrum compressum* classificado como abundante. As espécies de cianobactéria apresentaram uma alta densidade, sendo a espécie *Trichodesmium thiebautii* dominante e a mais representativa por ocorrer em todos os pontos de coleta. O filo Bacillariophyta foi o menos representativo e com o menor número de espécies. A densidade do fitoplâncton nas amostras variou de 40 a 500 Cel.L⁻¹. As espécies *Trichodesmium thiebautii* Gomont ex Gomont, *Trichodesmium erythraeum* Ehrenberg ex Gomont e *Prorocentrum compressum* (Bailey) T.H.Abé ex J.D.Dodge apresentaram correlações positivas significativas com os parâmetros físicos e químicos. Os nutrientes e a clorofila a foram consideradas baixas, confirmando a oligotrofia da área, onde o pico de biomassa foi encontrado no topo da termoclina. A análise estatística comprovou diferença significativa entre dia x noite, como também a interação dos nutrientes com os organismos fitoplanctônicos, em especial o N₂ como limitante para a produtividade das cianobactérias. Essas informações indicam que o ASPSP apresenta dados de temperatura, salinidade e nutrientes coerentes com áreas oligotróficas, comprovadas na literatura.

Palavras-chave: Fitoplâncton, dinâmica oceânica, arquipélago, nutrientes, biomassa

ABSTRACT

The area around the São Pedro e São Paulo archipelago (ASPSP) (0°56'2"N and 29°20'6" W) was investigated, with the aim of characterizing the structure of the phytoplankton community, its horizontal distribution patterns, quantifying biomass through chlorophyll a and correlating the interaction between environmental variables and phytoplankton. An expedition was carried out aboard the ship "Alpha" between June 8 and 14, 2023, during the region's rainy season. Two collection points (East and West) were established around the archipelago, according to the direction of the South Equatorial Current, and three collection depths were determined (surface, top of the thermocline and 200 meters) in two shifts (day and night). A cylindrical-conical net with a mesh size of 20 µm was used for horizontal subsurface trawls and Niskin bottles were used to collect qualitative and quantitative samples of phytoplankton and physicochemical parameters. The existence of a thermocline between 40 and 65 meters deep was verified. A total of 33 species of phytoplankton organisms were identified belonging to three phyla (Dinophyta, Bacillariophyta and Cyanobacteria). With regard to the Dinophyta phylum, although they had a higher number of species, they had low abundance during the sampling period, with *Prorocentrum compressum* being classified as abundant. The cyanobacteria species had a high density, with *Trichodesmium thiebautii* being the dominant species and the most representative as it occurred at all the collection points. The Bacillariophyta phylum was the least representative and had the lowest number of species. The density of phytoplankton in the samples ranged from 40 to 500 Cel.L⁻¹. The species *Trichodesmium thiebautii* Gomont ex Gomont, *Trichodesmium erythraeum* Ehrenberg ex Gomont and *Prorocentrum compressum* (Bailey) T.H.Abé ex J.D.Dodge showed significant positive correlations with the physical and chemical parameters. Nutrients and chlorophyll a were considered low, confirming the oligotrophy of the area, where the peak biomass was found at the top of the thermocline. Statistical analysis showed a significant difference between day and night, as well as the interaction between nutrients and phytoplankton organisms, especially N₂ as a limiting factor for cyanobacteria productivity. This information indicates that the ASPSP has temperature, salinity and nutrient data consistent with oligotrophic areas, as proven in the literature.

Key Word: Phytoplankton, ocean dynamics, archipelago, nutrients, biomass.

LISTA DE FIGURA

- Figura 1 – Área de estudo: A – Posicionamento do ASPSP (distância da costa) e representação das ilhas que compõem o arquipélago; B – Posicionamento dos pontos de coleta (S1 – montante e S2 – jusante em relação a nSEC) e correntes predominantes na região. 21
- Figura 2 – A - Variação da salinidade em relação a profundidade nos pontos de coleta; B - Variação da temperatura em relação a profundidade nos pontos de coleta do Arquipélago São Pedro e São Paulo – NE, Brasil. Fonte: O autor (2023). 29
- Figura 3 – Comparação da variação de temperatura com a profundidade durante o dia entre os pontos Leste e Oeste: A – Dia e B – Noite. 30
- Figura 4 – Densidade celular ($Cél/L^{-1}$) do fitoplâncton nos pontos de coleta do Arquipélago São Pedro e São Paulo – NE, Brasil. 32
- Figura 5 – Box-Plot (mediana e quartis) representando o $\text{Log}_{10}(X+1)$ da abundância fitoplanctônica por: (A) Profundidade: Superfície e 60 metros, (B) Transecto: Leste e Oeste e (C) Nictemeral: Dia e Noite. Amostras coletadas em garrafa de Niskin em 2023 no Arquipélago São Pedro e São Paulo- NE, Brasil. 35
- Figura 6 – Microfotografias de organismos fitoplanctônicos encontrados no Arquipélago São Pedro e São Paulo: A – *Ornithocercus steinii*; B – *Oxytoxum scolopax*; C – *Thalassiosira leptopus*; D – *Trichodesmium erythraeum*; E – *Trichodesmium thiebautii*; F – *Tripes macroceros*; G – *Prorocentrum gracile*; H – *Tripes furca* e I – *Tripes pentagonus*. 38
- Figura 7 – Teores de clorofila *a*: A - Variação da clorofila *a* ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) total e B - Variação da clorofila ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) fracionada do fitoplâncton nos pontos de coleta do Arquipélago São Pedro e São Paulo – NE, Brasil. 39
- Figura 8 - Teores de clorofila *a*: A - Variação da clorofila *a* ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) total e B - Variação da clorofila ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) fracionada do fitoplâncton nos pontos de coleta do Arquipélago São Pedro e São Paulo – NE, Brasil. 40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de nutrientes ($\mu\text{mol.l}^{-1}$) de acordo com cada estação no Arquipélago São Pedro e São Paulo- NE, Brasil. Legenda: Prof=Profundidade; ND=Não detectável; PO_4^{3-} =fosfato; NO_2^- =Nitrogênio; NO_3^- =Nitrato; NH_4^+ =Amônio; Si(OH)_4 =Ácido Ortossilícico. 31

Tabela 2 – Composição taxonômica do fitoplâncton no Arquipélago São Pedro e São Paulo- NE, Brasil. Cel.L^{-1} –Densidade celular de cada organismo; FO(%)–Frequência de ocorrência, * - Espécies separadas para fotomicrografias. 33

Tabela 3 – Sinopse taxonômica do fitoplâncton durante os períodos diurno e noturno no Arquipélago São Pedro e São Paulo- NE, Brasil. 36

LISTA DE ABREVIACOES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACAS	gua Central do Atlântico Sul
ASPSP	Arquipélago de São Pedro e São Paulo
AT	Massa de gua Tropical
CTD	Conductivity, Temperature, and Depth
CSE	Corrente Sul Equatorial
CarPriMa	Sistema carbonato marinho no Arquipélago São Pedro e São Paulo e sua interação com a produção primária e secundária
EUC	Corrente Equatorial Submersa
FO	Frequência de Ocorrência
LabFito	Laboratório de Fitoplâncton
LoQuim	Laboratório de Química
LabZoo	Laboratório de Zooplâncton
ND	Não detectável
NE	Nordeste
NH ₄ ⁺	Amnio
NO ₂ ⁻	Nitrito
NO ₃ ⁻	Nitrato
NSE	Corrente Equatorial do Sul
SCE	Sub Corrente Equatorial

SE	Sudeste
Si(OH) ₄	Ácido Ortossilícico
PMC	Ponto Máximo de Clorofila
PO ₄ ³	Fosfato
Prof	Profundidade
TA	Temperatura do ar
TSM	Temperatura do mar
ZEE	Zona Econômica Exclusiva

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	Erro! Indicador não definido.6
3 OBJETIVOS	20
3.1 Objetivo Geral	20
3.2 Objetivos Específicos.....	20
4 METODOLOGIA.....	211
4.1 Descrição de área.....	21
4.2 Estratégia amostral.....	23
4.3 Variáveis ambientais.....	23
4.4 AMOSTRAGEM DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA.....	24
4.5 Análise qualitativa do fitoplâncton.....	24
4.6 Análise quantitativa do fitoplâncton.....	24
4.7 Biomassa fitoplanctônica (clorofila <i>a</i>) total e fracionada.....	25
4.8 ESTRUTURA DA COMUNIDADE PLANCTÔNICA.....	26
4.8.1 Riqueza de espécies.....	26
4.8.2 Abundância relativa.....	26
4.8.3 Frequência de ocorrência.....	26
4.8.4 Índice de diversidade específica.....	27
4.8.5 Equitabilidade.....	27
4.8.6 Análises estatísticas.....	28
5 RESULTADOS.....	Erro! Indicador não definido.9
5.1 Parâmetros abióticos.....	29

5.2 Composição da comunidade fitoplanctônica.....	31
5.3 Biomassa e teores de clorofila <i>a</i>.....	37
5.4 Distribuição do fitoplâncton em função dos parâmetros abióticos.....	39
6 DISCUSSÃO.....	41
6.1 Parâmetros físico-químicos.....	41
6.2 Composição florística.....	42
6.3 Biomassa e teores de clorofila <i>a</i>.....	46
7 CONCLUSÃO Erro! Indicador não definido.....	48
8 REFERÊNCIAS Erro! Indicador não definido.....	49

1. INTRODUÇÃO

O plâncton pode ser definido como um conjunto de organismos que independentemente do seu tamanho corporal, possuem pouca ou nenhuma capacidade locomotiva (BOLTOVSKOY, 1981), mas conseguem realizar diariamente migração vertical na coluna d'água (CUVIER, 1817). O plâncton é constituído por inúmeros organismos microscópicos, e possui representantes em quase todos os filos taxonômicos (BRANDINI *et al.*, 1997).

A comunidade planctônica apresenta componentes com classificação dimensional que podem ser divididos em várias categorias, o picoplâncton (0,2 – 2,0µm), o nanoplâncton (2,0 - 20µm) e o microplâncton (20 - 200µm) segundo Sieburth; Smetacek; Lenz (1978), existindo representantes em diversas categorias, como o fitoplâncton representado pelas cianobactérias e algas protistas; o zooplâncton, representado por protozoários, animais adultos e suas formas larvais e o bacterioplâncton, que juntos constituem a unidade básica da teia alimentar dos ecossistemas aquáticos (DUXBURY; DUXBURY, 1996; PORCELLIS, 2016).

O fitoplâncton é constituído por algas microscópicas, unicelulares, isoladas ou coloniais, que flutuam preferencialmente na superfície das águas (GROSS & GROSS, 1996). Segundo Ricklefs (2003), alterações na estrutura dessa comunidade pode acarretar em profundas mudanças em níveis tróficos superiores, pois devido ao caráter dinâmico desses organismos, como elevada taxa de reprodução e ciclo de vida curto, existe uma alta taxa de resposta as modificações ambientais.

Nos ambientes aquáticos esses organismos desempenham um papel chave na base da teia trófica, na qual eles funcionam como produtores primários definindo o fluxo e a ciclagem da matéria orgânica, o dióxido de carbono e ainda participam na oxigenação da atmosfera, além de serem bioindicadores de estado trófico de diversos tipos de ecossistemas, massas de águas e correntes (LASTERNAS *et al.*, 2008; SIMON *et al.*, 2009).

Devido ao seu pequeno tamanho e elevada abundância (FINLAY, 2002), a comunidade fitoplanctônica é facilmente dispersa, sendo razoável assumir que as condições locais (estrutura física do sistema, disponibilidade de recursos, interação com a topografia local, entre outros) determinarão quais espécies ocorrerão naquele local (MARGALEF, 1978; REYNOLDS, 1980; HILLEBRAND & AZOVSKY, 2001; BEISNER *et al.*, 2006). Assim, as condições oceanográficas atuam como filtros favorecendo determinados grupos que compartilham características adaptativas parecidas (REYNOLDS, 1988; WEBB *et al.*, 2002). Desse modo, é importante conhecer os fatores que governam essa dinâmica entre o ambiente e essa comunidade.

A compreensão de um ecossistema reside nas informações sobre os seres vivos de níveis tróficos distintos, assim como na correlação com os parâmetros abióticos (LONGHURST *et al.*, 1995), onde análises quali-quantitativas desses organismos fotossintetizantes são de extrema importância para a compreensão de fenômenos aquáticos. Apesar disso são escassas as informações disponíveis na literatura sobre a variabilidade temporal e espacial da abundância do fitoplâncton e da produtividade primária na região que corresponde a Zona econômica exclusiva (ZEE).

A província do Atlântico Tropical Sudoeste contempla importantes ilhas oceânicas que estão inseridas dentro de ecorregiões marinhas (Arquipélago de São Pedro e São Paulo - ASPSP, Fernando de Noronha e Atol das Rocas). O ASPSP é um afloramento de um monte submarino localizado numa falha da Cordilheira Meso-Atlântica (ARAÚJO; CINTRA, 2009), que compreende o menor e mais isolado conjunto de ilhas oceânicas em uma das ecorregiões da Zona Econômica Exclusiva do Brasil (ZEE) (QUEIROZ *et al.*, 2015).

O padrão das correntes e a estrutura termohalina dessas ilhas oceânicas pode provocar uma ressurgência local, de modo que existe um aumento na produtividade primária devido ao transporte de nutrientes no sentido vertical alcançando a zona eufótica (DOTY & OGURI, 1956). Esse fenômeno faz com que esses locais se tornem importantes áreas de concentração planctônica e por meio disso, é possível observar que ilhas oceânicas são verdadeiros “hotspots” de biodiversidade (BOEHLERT; MUNDY, 1988), onde na literatura, esse fenômeno pode ser conhecido também como “efeito ilha” (DOTY & OGURI, 1956) ou “efeito de massa insular” (LONGHURST & PAULY, 2007).

Devido a sua localização (situado entre os continentes africano e americano), esta área apresenta um grau elevado de organismos endêmicos (como peixes, crustáceos e aves), além de servir como ponto de parada para animais migratórios (CAMPOS *et al.*, 2009), ressaltando não só a importância da conservação da biodiversidade deste lugar, mas também a importância de estudos do fitoplâncton, uma vez que esses organismos são a base de teia trófica no ambiente. Portanto, mesmo com a dificuldade de acesso a águas mais afastadas da costa, torna-se necessário pesquisas que envolvam as interações entre as variáveis ambientais, os processos biológicos e os organismos desse ecossistema, em especial, o fitoplâncton, devido a sua importância nesses ambientes.

A forma encontrada na literatura para observar o fitoplâncton marinho sobre o ponto de vista ecológico, biológico e fisiológico envolve avaliações da composição específica, concentrações de componentes celulares (clorofila *a*, nitrogênio e carbono) e a análise da biomassa por meio do biovolume celular (HILLEBRAND *et al.*, 1999; SOURNIA, 1981;

BECKER, 2001). A clorofila *a*, em especial, pode ser utilizada como estimativa da biomassa fitoplanctônica nos ambientes aquáticos, onde a variação e concentração desse parâmetro, pode descrever o estado trófico de um ambiente (MARFALEF, 1978; GASOL & DUARTE, 2000).

Nas regiões tropicais e subtropicais, a variação da radiação solar incidente sobre a superfície dos oceanos, não é tão grande, se comparado com áreas de médias e altas latitudes e portanto, a variação sazonal da produção fotossintética não seria uma função unicamente dependente da luz (CIOTTI, 2007). Na zona eufótica, onde ocorre a produção fotossintética de matéria orgânica, tanto a distribuição vertical da biomassa fitoplanctônica quanto o fornecimento de nutrientes dependem da estratificação da coluna d'água, que está associada às flutuações diárias do balanço de calor oceano-atmosfera, sendo a radiação solar a principal componente desse processo (MARRA *et al.*, 1990). Portanto, o suprimento de nutrientes e a incidência de energia luminosa podem ser definidos como importantes reguladores da produção primária em áreas oceânicas.

Pesquisas e projetos com abordagem do plâncton no ASPSP têm-se concentrado na análise da composição faunística, diversidade e valores de densidade de organismos como: decapoda (KOETTKER, 2008); concentração de larvas de peixes (MACEDO-SOARES *et al.*, 2011) e efeitos da turbulência sobre a migração vertical do zooplâncton (MELO, 2013). No que se diz respeito aos estudos sobre o fitoplâncton, as pesquisas são escassas na área, tendo apenas três trabalhos mais recentes: Tiburcio *et al.*, 2011 (taxonomia e a relação entre os parâmetros físico-químicos); Queiroz, 2011 (análise utilizando o biovolume fitoplanctônico para estimativa da biomassa em carbono) e Queiroz *et al.*, 2015 (distribuição vertical e horizontal da densidade e biomassa em carbono da comunidade fitoplanctônica).

Essas pesquisas focadas em ecossistemas oceânicos do Brasil, evidenciou uma carência de trabalhos que abordam o fitoplâncton (composição taxonômica, densidade celular e biomassa) e sua interação com os parâmetros físico-químicos. Além do intuito de compilar os trabalhos sobre a comunidade fitoplanctônica realizados em regiões insulares, esse trabalho também teve como objetivo caracterizar e descrever a biodiversidade do fitoplâncton e analisar a variabilidade e a influência das variáveis oceanográficas sobre esses organismos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Nos ambientes aquáticos, bem como em outros ambientes marinhos, os organismos fitoplanctônicos sustentam a produtividade. Sabe-se que a estrutura da comunidade do fitoplâncton em regiões oceânicas tropicais é abundante em células de tamanho reduzido e que variam de acordo com o ecossistema estudado, pois quando falamos em áreas tropicais e oligotróficas, existem grupos de organismos, como as diatomáceas, que têm uma importância comparativamente menor, se relacionado com outros organismos (como os dinoflagelados, cocolitoforídeos e pequenos flagelados) (LONGHURST & PAULY, 2007).

Entre os grupos fitoplanctônicos presentes em áreas oceânicas, os dinoflagelados têm uma relevância tão grande em áreas oceânicas devido a sua capacidade de sobreviver e se desenvolver em condições de perturbação física constante, exposição a luz intensa e restrição de nutrientes, apresentando, mesmo que em um ambiente com condições de difícil permanência, uma grande variedade de espécies, diversidade morfológica e habilidades adaptativas (SMAYDA & REYNOLDS, 2002). Diferente das diatomáceas que se apresentam como dominantes em águas costeiras e rasas, ricas em silicato (CLOERN; JASBY, 2007).

Diversas pesquisas foram realizadas ao longo da costa nordestina com o objetivo de estudar a comunidade de fitoplâncton. Um exemplo é o estudo de Koenig & Lira (2005), que destaca as espécies e a distribuição do gênero *Ceratium*. Outras pesquisas também enfatizaram as diatomáceas e outras espécies de dinoflagelados, considerados organismos significativos nessa região (PASSAVANTE *et al.*, 1989; ESKINAZI-LEÇA *et al.*, 1997; KOENIG *et al.*, 2009; SILVA-CUNHA *et al.*, 1991; SILVA-CUNHA & ESKINAZI-LEÇA, 1990). Apesar dessas contribuições, ainda há uma escassez de dados sobre a comunidade fitoplanctônica em ilhas e bancos oceânicos ao longo da costa do Brasil.

Uma das primeiras pesquisas a abordar essa questão foi conduzida por Müller-Melchers (1955), durante a qual ele compilou uma lista de diatomáceas com base em material coletado no ASPSP. Do ponto de vista científico, a localização geográfica do arquipélago, situado entre os continentes africano e americano, confere ao Arquipélago uma singularidade que o torna um local ideal para a realização de pesquisas em diversas áreas da ciência (PORTO, 2006).

Segundo Hernández-Léon *et al.*, (2001), as regiões que cercam ilhas e bancos oceânicos podem experimentar um aumento na taxa de fotossíntese e, por consequência, na produtividade primária e no potencial pesqueiro. Esse fenômeno é atribuído à interação dos fatores geológicos e físicos, conhecido como o "efeito de massa insular". Isso ocorre quando a dinâmica entre correntes oceânicas e vórtices, juntamente com as condições geológicas específicas, permite

que águas mais profundas, ricas em nutrientes, alcancem a zona eufótica, criando condições ideais para o aumento da biomassa planctônica ao redor dessas áreas, conforme ocorre em locais como as ilhas Galápagos (SNOW, 2006).

Esse evento contribui para o crescimento do fitoplâncton, tornando as ilhas e bancos oceânicos alvos significativos da pesca oceânica, como é o caso no Nordeste do Brasil, como apontado por Leite *et al.*, (2008).

Em uma análise de amostras de plâncton coletadas nas proximidades do banco de Abrolhos (Bahia), os resultados revelaram que, apesar de uma maior diversidade de espécies de diatomáceas, os dinoflagelados predominaram em termos de quantidade, em que essa situação é característica de águas oligotróficas (MACEDO-SAIDAH & MOREIRA-FILHO, 1977). Na mesma área, é importante destacar o estudo realizado por Gaeta *et al.*, (1999), que investigou a biomassa e a produtividade primária do fitoplâncton. Eles observaram que o banco de Abrolhos era oligotrófico, ou seja, apresentava baixas concentrações de nutrientes com baixa biomassa em termos de clorofila *a* e taxas de produtividade primária relativamente baixas.

Complementar a esse estudo, Susini-Ribeiro (1999) avaliou a distribuição da biomassa do picoplâncton, nanoplâncton e microfitoplâncton na plataforma continental de Abrolhos. Seus resultados indicaram que o picoplâncton contribuiu com 64% da biomassa de carbono, o nanoplâncton com 33%, enquanto o microfitoplâncton representou apenas 3%. Embora a comunidade de nanoplâncton e microfitoplâncton tenha contribuído com apenas 36% da biomassa total de carbono, ela era altamente diversificada em termos de espécies.

Em um estudo da biomassa fitoplanctônica na Zona Econômica Exclusiva do Nordeste (ZEE), Mafalda Júnior *et al.*, (2009) observaram um aumento nos níveis de clorofila *a* na área adjacente ao Arquipélago de São Pedro e São Paulo. No mesmo cenário, Koenig & Oliveira (2009) conduziram uma pesquisa sobre a estrutura do fitoplâncton no mesmo Arquipélago, onde coletaram dados em oito estações distribuídas ao longo de dois transectos. Eles descobriram a presença de uma flora bastante diversificada e composta principalmente por dinoflagelados.

Ainda referente a ZEE, foi identificado que os valores de biomassa tendem a aumentar nas áreas próximas a ilhas e arquipélagos, como o ASPSP, devido à presença de ressurgências topográficas. No entanto, em geral, a região do Nordeste tem níveis considerados baixos de produtividade primária conforme observado por Chaves *et al.*, (2006) e Mafalda Júnior *et al.*, (2009). Isso indica que, embora haja áreas de maior produtividade próximas a ilhas, a produtividade primária na região como um todo é relativamente baixa.

No Atol das Rocas, apenas um estudo abordou a biomassa fitoplanctônica, revelando que o teor de clorofila *a* variou de 0,64 a 1,10 mg.m⁻³. Quanto às contribuições das frações que compõem a comunidade fitoplanctônica do Atol, constatou-se que o nanofitoplâncton e o microfitoplâncton foram as frações dominantes (JALES, 2015).

No caso de Fernando de Noronha, Aquino (2016) verificou que a presença e abundância de determinadas espécies comprovam suas afinidades para as condições ambientais específicas e isso, pode acabar influenciando os valores de clorofila *a*. Para a mesma área Cordeiro *et al.*, (2013) conduziram um estudo onde avaliaram os níveis de clorofila *a* em uma faixa que vai desde a superfície até 200 metros de profundidade. Os resultados sugeriram que a presença do relevo na região altera a termoclina devido à influência da ACAS, o que estimula a produção primária.

Em estudos anteriores (KOENING & OLIVEIRA, 2009; TIBURCIO *et al.*, 2011; QUEIROZ *et al.*, 2015), foi registrado *Trichodesmium thiebautii* como a espécie dominante no ASPSP, exercendo influência sobre a estrutura da comunidade e desempenhando o papel de espécie característica do fitoplâncton na região. Essa cianobactéria teve um impacto significativo na ecologia local, no qual de maneira semelhante, a dominância de outras cianobactérias filamentosas, como *Oscillatoria* spp., foi registrada nas águas costeiras do arquipélago de Fernando de Noronha (Pernambuco) por Lima (2012).

Além disso, as espécies fitoplanctônicas identificadas não apenas no arquipélago de São Pedro e São Paulo, pelos autores mencionados anteriormente, mas também na ilha Trindade (Espírito Santo), conforme documentado por Lubiana *et al.*, (2009), indicam uma possível conexão entre as espécies presentes em áreas insulares e na plataforma continental brasileira.

Estudos mais recentes realizados no Arquipélago de São Pedro e São Paulo revelam uma composição florística característica de regiões oceânicas oligotróficas, tropicais e subtropicais. De acordo com Queiroz *et al.*, (2015), as cianobactérias, especialmente o *T. thiebautii*, apresentam alta densidade na área, enquanto Tiburcio *et al.*, (2011) destaca a alta diversidade específica dos dinoflagelados, além de catalogar 17 novas ocorrências para o Nordeste do Brasil. Essas descobertas estão corroborando com pesquisas anteriores nesse ambiente, como as realizadas por Koenig & Oliveira (2009).

A compreensão sobre um ecossistema aquático torna-se inviável sem o entendimento da composição de espécies, dos valores de produtividade e da biomassa do fitoplâncton (OLENINA *et al.*, 2006). Esses organismos assumem um papel crucial como o principal grupo de produtores primários, contribuindo significativamente para a produção primária em

determinadas regiões, possibilitando assim, o funcionamento praticamente total das cadeias alimentares marinhas (LOURENÇO; MARQUES JÚNIOR, 2002).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Aprofundar a compreensão da comunidade fitoplanctônica, examinando sua distribuição espacial e as interações com as forçantes físico-químicas, investigando a variabilidade das condições oceanográficas e destacando o papel crucial desses organismos na região do Arquipélago São Pedro e São Paulo.

3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a estrutura da comunidade;
- Determinar a abundância relativa e a frequência de ocorrência das espécies;
- Descrever a diversidade da comunidade fitoplanctônica;
- Analisar a distribuição espacial (transecto e profundidade) do fitoplâncton;
- Quantificar a biomassa fitoplanctônica através da análise de clorofila *a*;
- Investigar a relação entre as espécies da comunidade e as variáveis ambientais;

4. METODOLOGIA

4.1 DESCRIÇÃO DE ÁREA

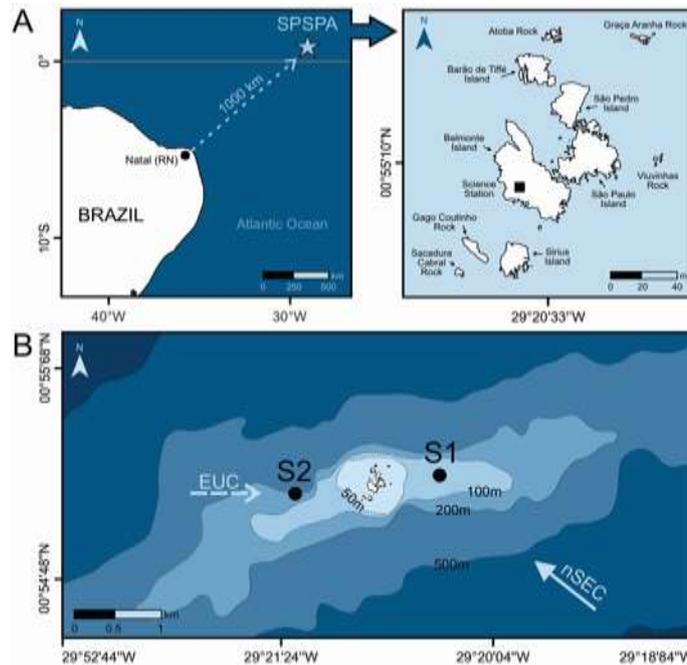


Figura 1 - Área de estudo: A – Posicionamento do ASPSP (distância da costa) e representação das ilhas que compõem o arquipélago; B – Posicionamento dos pontos de coleta S1 (Leste) – montante e S2 (Oeste) – jusante em relação a nSEC) e correntes predominantes na região. Fonte: O autor (2024).

O Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSA) (Figura 1-B) está localizado no Oceano Atlântico tropical entre as coordenadas $00^{\circ}56'2''$ N e $29^{\circ}20'6''$ W e é considerado o menor e mais isolado arquipélago tropical do mundo. Sendo formado por um conjunto de ilhotas rochosas, originadas de um afloramento do manto suboceânico, situando-se a aproximadamente 1.000 km do litoral do Rio Grande do Norte (FEITOZA *et al.*, 2003; BECKER, 2001).

Por estar situado em uma falha transformante, (Cordilheira Mesoatlântica) o arquipélago é um dos pontos dentro do território brasileiro com maior atividade sísmica, sendo assim, ele é considerado a única ilha oceânica de origem não vulcânica (EDWARDS & LUBBOCK, 1983). É também o único arquipélago oceânico do território brasileiro que está situado no hemisfério norte, já que o ASPSP fica localizado a cerca de 62,14 milhas náuticas (em torno de 100 km) ao norte da linha do equador (Figura 1-A) (CAMPOS *et al.*, 2009).

Está inserido na Zona Econômica Exclusiva Brasileira (ZEE) que se estende desde o limite exterior do Mar Territorial, cerca de 12 milhas de largura, até 200 milhas náuticas da costa, o que constitui 3,5 milhões de km, cobre 25% da produtividade global e 90% das capturas totais de peixes (EDWARDS & LUBBOCK, 1983; CAMPOS *et al.*, 2005).

Os sistemas pelágicos do Nordeste e do Leste do Brasil devem ser considerados como um sistema único, já que são controlados principalmente pelos impactos de águas oligotróficas da Corrente Equatorial do Sul (CSE ou nSEC) e correntes derivadas (MACEDO-SAIDAH & MOREIA-FILHO, 1977; EKAU & KNOPPERS, 1999). Devido as características da Corrente Sul Equatorial, o Nordeste é considerado uma região de baixa produtividade primária e isso é característico de águas oceânicas tropicais (PLATT *et al.*, 1980).

A região oceânica do Atlântico tropical é dominada por águas quentes e oligotróficas da Corrente Sul Equatorial, que se bifurca originando duas outras correntes: a Corrente Norte do Brasil e a Corrente do Brasil. O regime de ventos, dominado pelos ventos alísios, faz com que a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) fique permanentemente abaixo da zona eufótica e isso acaba dificultando o desenvolvimento de fenômenos de ressurgências (YONEDA, 1999).

O ASPSP encontra-se inserido numa zona de influência direta de três grandes correntes: a Sul- Equatorial, a Contra Corrente Equatorial e a Corrente Equatorial Submersa (EUC). Sendo essa última uma das mais rápidas, variáveis e menos conhecidas dentre todas as correntes oceânicas (OMORI & IKEDA, 1984). Devido a posição geográfica dessa corrente, é atribuído ao ASPSP uma condição única de “oásis” em meio às águas do Oceano Atlântico, tornando o arquipélago uma área de grande importância biológica, comercial e de pesquisa (PORTO, 2006).

Por estar inserido em uma região tropical, a termoclina nesse ambiente é permanente e situa-se entre 50 e 120 m de profundidade, ocorrendo termoclinas transitórias que podem se elevar próximas ao Arquipélago, provavelmente pela influência do relevo. É observado alto índice de transparência e a camada eufótica tem seu limite inferior entre 60 e 90 m de profundidade (MACEDO *et al.*, 1998; BEZERRA JR, 1999).

Os ventos predominantes na região são os Alísios de sudeste (SE), principalmente durante agosto (Inverno austral), e a intensidade do vento no arquipélago não varia muito, no qual seu valor raramente ultrapassa 7 ms^{-1} , sendo ligeiramente menor de janeiro a abril e aumentando no restante do ano (SKIELKA *et al.*, 2006; MACEDO-SOARES *et al.*, 2009). As temperaturas do mar (TSM) e da superfície do ar (TA) nas proximidades do ASPSP apresentam um ciclo sazonal semelhante, onde a TA varia entre 26°C e 28°C , com maiores valores nos meses entre abril e maio e apresentando temperaturas mais baixa entre julho e setembro,

enquanto a TSM é sempre superior à temperatura do ar, variando de 27,0 a 27,2°C sendo que essa diferença raramente ultrapassa 1°C (CHAVES *et al.*, 2006; MACEDO *et al.*, 2009).

4.2 ESTRATÉGIA AMOSTRAL

Para realização da pesquisa, a expedição foi realizada a bordo de um navio disponibilizado pela Marinha do Brasil e coordenado pelo projeto Sistema Carbonato Marinho no Arquipélago São Pedro e São Paulo e sua interação com a produção primária e secundária (CarPriMa).

Os dados foram coletados no Arquipélago São Pedro e São Paulo em dois pontos de coleta, em três profundidades (superfície, 60 e 200 metros) e nos horários diurno e noturno entre os dias 08/06 a 14/06 de 2023, referente ao período chuvoso. Os dois pontos de coleta foram definidos como Leste e Oeste, a partir do fluxo da nSEC, e são áreas localizadas ao entorno do ASPSP.

4.3 VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Os dados de temperatura, condutividade, oxigênio dissolvido e profundidade local foram obtidos usando um CTD (modelo SonTek CastAway).

Foram coletadas amostras de água por meio de uma garrafa de Niskin (10L) nas seguintes profundidades: superfície, 60 metros e 200 metros. As amostras foram acondicionadas em recipientes para serem analisadas posteriormente pelo Laboratório de Química (LOQUIM) do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco.

Para a análise de clorofila, que corresponde a biomassa fitoplanctônica, a água (2 L) foi filtrada por meio de uma bomba a vácuo com a utilização de Microfiltros Fibra de Vidro GF-1 e acondicionada em local congelado com papel laminado e longe da luz, com posterior análise espectrofotométrica (UNESCO, 1966; STRICKLAND & PARSONS, 1972).

Para a análise de nutrientes inorgânicos dissolvidos, as amostras de água foram colocadas em garrafas plásticas de 300 mL, imediatamente congeladas e posteriormente transportadas para o LOQUIM. No laboratório, as análises de nutrientes dissolvidos (nitrito, nitrato, amônia e fosfato) foram realizadas conforme descrito por Strickland & Parsons (1972), e as de silicato conforme descrito por Grasshoff *et al.*, (1983).

4.4 AMOSTRAGEM DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA

Para o estudo da comunidade fitoplanctônica foram utilizadas duas metodologias de coleta (rede de plâncton com malha de 20 μ m e garrafa de Niskin) para análise qualitativa.

Os táxos foram identificados até o menor nível taxonômico possível no Laboratório de Fitoplâncton (LABFITO), mediante a análise de características morfológicas. A análise taxonômica baseou-se na literatura especializada: BALECH (1978); BÉRARD-TERRIAULT *et al.*, (1999); CHRÉTIENNOT-DINET *et al.*, (1990); CUPP (1943); HOPPENRATH *et al.*, (2009); HUSTEDT (1961-1966); KOMÁREK AND ANAGNOSTIDIS (2005); SILVA-CUNHA & ESKINAZI-LEÇA (1990); TOMAS (1997) e SOURNIA (1967); e classificadas de acordo com GUIRY & GUIRY (2023). Quando necessário, foi aplicado o método de oxidação do material coletado (CARR *et al.*, 1986) para visualização das ornamentações nas frústulas das diatomáceas.

Para a atualização taxonômica, todos os nomes científicos foram verificados no banco de dados internacional ALGAEBASE (<http://www.algaebase.org>) e WORMS (<https://www.marinespecies.org>) em novembro de 2023.

4.5 ANÁLISE QUALITATIVA DO FITOPLÂNCTON

Para a análise qualitativa do fitoplâncton, as amostras foram coletadas com rede com abertura de malha de 20 μ m, em arrasto horizontal subsuperficial em intervalos de cinco-dez minutos, logo após, foram fixadas em solução de formaldeído neutralizado (4%).

Em laboratório, as amostras foram homogeneizadas, sendo analisadas em subamostras de 1,0 ml para identificação e contagem direta dos táxons em lâminas semipermanentes, sendo contados todos os indivíduos encontrados com o auxílio do microscópio óptico (Zeiss: AXIOSKOP) com oculares micrométricas, objetivas retráteis, de imersão e contraste de fase.

4.6 ANÁLISE QUANTITATIVA DO FITOPLÂNCTON

Para a análise quantitativa, foram coletadas amostras de 1L na superfície e em 60 metros de profundidade nos pontos de coleta com uma garrafa de Niskin (10L) e imediatamente fixadas com Lugol a 2%, sendo mantidas abrigadas da luz e em um ambiente ventilado.

Em laboratório, a contagem foi realizada em microscópio invertido (AXIOVERT 40 C - Carl Zeiss) pelo método de Utermöhl (1958), para a determinação da densidade celular (cel.L^{-1}), em aumento de 20x, utilizando a objetiva de 40x para uma melhor visualização dos caracteres taxonômico (Ferrario *et al.*, 1995). Esse método consiste em se deixar sedimentar um volume conhecido (50 mL) da amostra de água (previamente homogeneizada) em câmara de sedimentação e efetuar a contagem completa de organismos na amostra. Foi adicionado em cada subamostra o corante Rosa de Bengala para distinguir as células fitoplanctônicas e as partículas de sedimento (THRONDSEN, 1978), com tempo médio de sedimentação de 24 horas (HASLE, 1978; EDLER, 1979).

4.7 BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA (CLOROFILA A) TOTAL E FRACIONADA

Para a determinação da biomassa fitoplanctônica foi utilizada o teor de clorofila *a* (total e fracionada). Para o fracionamento das amostras utilizou-se um tubo de PVC com uma tela de 20 μm , passando em seguida pelo filtro de fibra de vidro para separar as frações do microfitoplâncton ($> 20 \mu\text{m}$), a do nano-picoplâncton ($< 20 \mu\text{m}$) e o teor de clorofila *a* da fração do microfitoplâncton é a subtração dos resultados anteriores.

As amostras foram filtradas em bomba a vácuo, utilizando Microfiltro Fibra de Vidro GF-1 da marca MN (47mm de diâmetro e 1.2 micra de abertura de poro). Estes filtros foram acondicionados em tubo de ensaio com acetona 90% como solvente orgânico e deixado em freezer por 24 horas. Depois de retirar do freezer, os tubos foram colocados na centrífuga Excelsa Baby Fanema a 3.000 rpm, por 10 minutos para em seguida, ser feita a leitura em um espectrofotômetro, utilizando as absorvâncias 630, 645, 665 e 750 nm, segundo a metodologia descrita em Unesco (1966).

Para os cálculos da clorofila *a*, foi aplicada a equação apresentada por Parsons & Strickland (1963):

$$Clo - a (mg.m^{-3}) = \frac{11.6 \cdot DD_{665} - (1.31 \cdot DD_{645} + 0.14 \cdot DD_{630} + DD_{750}) \cdot V}{Vf Vf \cdot L}$$

Onde:

$Clo-a$ = clorofila a, expressa em mg.m^{-3} ;

D_{635} = absorvância no comprimento de onda de 635 nm;

D_{645} = absorvância no comprimento de onda de 645 nm;

D_{665} = absorvância no comprimento de onda de 665 nm;

D_{750} = absorvância no comprimento de onda de 750 nm;

v = volume final de acetona a 90% adicionado = 10 mL;

V_f = volume da água filtrada (litros);

L = caminho óptico da cubeta = 1 cm.

4.8 ESTRUTURA DA COMUNIDADE PLANCTÔNICA

4.8.1 RIQUEZA DE ESPÉCIES

A riqueza de espécies foi avaliada segundo o número de espécies identificadas nos diferentes turnos (dia e noite), locais (Leste e Oeste) e profundidades (Superfície, 60 metros e 200 metros), nas amostras coletadas com rede e garrafa.

4.8.2 ABUNDÂNCIA RELATIVA

A abundância relativa foi estimada a partir do número de indivíduos de cada táxon em relação ao número total de indivíduos de cada amostra, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$Ar = \frac{N \cdot 100}{N_a}$$

Onde:

Ar = Abundância relativa;

N = numérico total de organismo de cada táxon na amostra;

N_a = numérico total de organismos na amostra;

100 = fator de conversão para porcentagem.

Para a interpretação dos resultados da abundância relativa seguiu-se o critério de Lobo e Leighton (1986):

Dominante – espécie cuja ocorrência numérica é superior a 50% do número total de indivíduos da amostra; Abundante – espécie cuja ocorrência supera o valor médio de indivíduos da amostra; Raro – espécie cuja ocorrência é inferior ao valor médio de indivíduos da amostra.

4.8.3 FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA

A frequência de ocorrência dos táxons foi expressa em forma de porcentagem, levando em consideração o número de vezes em que cada táxon ocorreu e o número total de amostras, sendo

aplicada a metodologia de Mateucci e Colma (1982), através da fórmula:

$$F = \frac{M \times 100}{m}$$

em que:

F = frequência de ocorrência;

M = número de amostras dos três coletores em que o táxon ocorreu;

m = número total de amostras estudadas;

100 = fator de conversão para porcentagem.

Para interpretação desses resultados, foi utilizada a seguinte escala: Muito frequente – espécie cuja ocorrência numérica é superior a 70% das amostras; Frequente – espécie cuja ocorrência seja ($\geq 70 > 40\%$ das amostras; Pouco frequente – espécie cuja ocorrência é $\leq 40 > 10\%$ da amostra; Esporádico – espécie cuja ocorrência é igual ou inferior a 10% das amostras.

4.8.4 ÍNDICE DE DIVERSIDADE ESPECÍFICA

Para cálculo da diversidade específica foi utilizado o software computacional Primer 6 que basea-se no índice de Shannon (SHANNON, 1948), através da seguinte fórmula:

$$H'(\text{bits.cel}^{-1}) = \sum p_i \cdot \log_2 p_i \quad \therefore p_i = n_i/N$$

Onde:

H' (bits.cel^{-1}) = índice de Shannon;

p_i = probabilidade de coleta da espécie i na população;

n_i = número de indivíduo da espécie i ;

N = número total de indivíduos.

Em função dos resultados da diversidade específica, as amostras foram consideradas como: Alta – amostra cuja diversidade é superior a 3,0 bits.cel^{-1} ; Média – amostra cuja diversidade ocorreu entre 2,0 e 3,0 bits.cel^{-1} ; Baixa – amostra cuja diversidade é 1,0 e 2,0 bits.cel^{-1} ; Muito baixa – amostra cuja diversidade foi menor que 1,0 bits.cel^{-1} .

4.8.5 EQUITABILIDADE

Para o cálculo do índice de equitabilidade (J') utilizou, também, o o software computacional

Primer 6, de acordo com a seguinte fórmula:

$$J' = \frac{H'}{\log_2 S}$$

Onde:

H' = índice de Shannon;

S = número total de espécies de cada amostra.

O valor da equitabilidade varia entre zero e um, e representa: Alta – amostra cuja equitabilidade seja próximo de *um*, quando todas as espécies estão igualmente representadas (quando os valores ultrapassam 0,5); Baixa – amostra cuja equitabilidade seja próximo de *zero* (indicada por valores <0,5), quando quase totalidade da amostra pertence a uma só espécie.

As análises desse índice foram realizadas utilizando o software Primer 6.

4.8.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Com as análises estatísticas, foi verificada a heterogeneidade das variâncias com o teste de Levene e os dados foram transformados para o logaritmo natural de (X+1), prioritariamente quando necessário. Uma vez não verificado a homogeneidade das variâncias, métodos não paramétricos (teste de Mann-Whitney e ANOVA Kruskal-Wallis) foram utilizados para se testar os efeitos principais.

Foi realizada uma Análise de Redundância (RDA) utilizando os dados e os parâmetros ambientais normalizados, junto com as espécies fitoplanctônica mais abundantes, com o objetivo de avaliar as interações entre eles.

5. RESULTADOS

5.1 PARÂMETROS ABIÓTICOS

As observações dos dados abióticos coletados nas proximidades do ASPSP revelaram uma temperatura média de 23 °C. Essa tendência pode ser visualizada na Figura 2 - B, onde a temperatura permanece elevada e estável até uma profundidade de 40 metros, após o que ocorre uma queda significativa com o aumento da profundidade. Quanto à salinidade, foi registrada uma média de 35,68. Os dados de temperatura e salinidade indicam a presença da massa de Água Tropical (AT), caracterizada por temperaturas acima de 18°C e uma salinidade entre 34 e 36. Na Figura 2 - A, pode-se observar que a salinidade apresenta um padrão distinto da temperatura, com pouca variação com o aumento da profundidade.

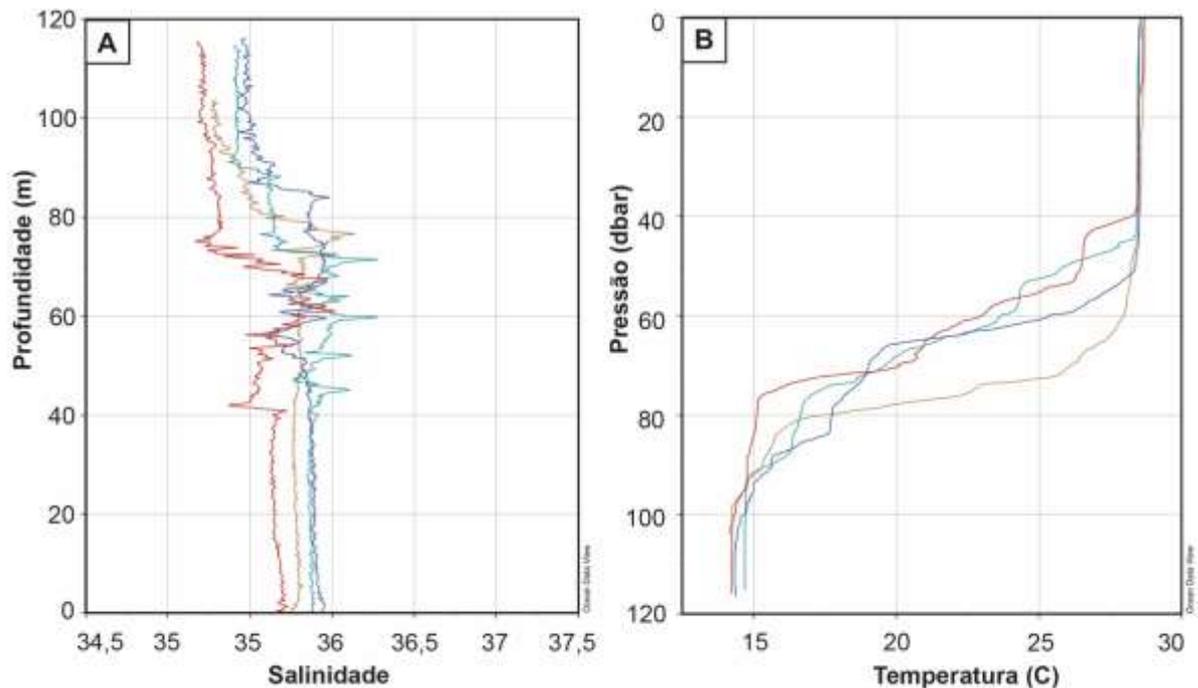


Figura 2 – A - Variação da salinidade em relação a profundidade nos pontos de coleta; B - Variação da temperatura em relação a profundidade nos pontos de coleta do Arquipélago São Pedro e São Paulo – NE, Brasil. Fonte: O autor (2023).

A rápida diminuição da temperatura está correlacionada com a presença da termoclina permanente, evidente nas camadas de profundidade situadas entre 40 e 60 metros. Além da termoclina, nota-se que a temperatura continua a diminuir nas camadas abaixo dela.

Ao analisar a temperatura e a profundidade em comparação com as áreas coletadas (leste e oeste) e o turno, são perceptíveis algumas diferenças. Durante o dia, uma extensão maior da

temperatura ao longo da coluna d'água é observada, atingindo cerca de 60 metros de profundidade. Com o aumento da termoclina, é possível que a profundidade de máxima clorofila (PMC) aumente devido à maior influência na qual a energia luminosa pode penetrar.

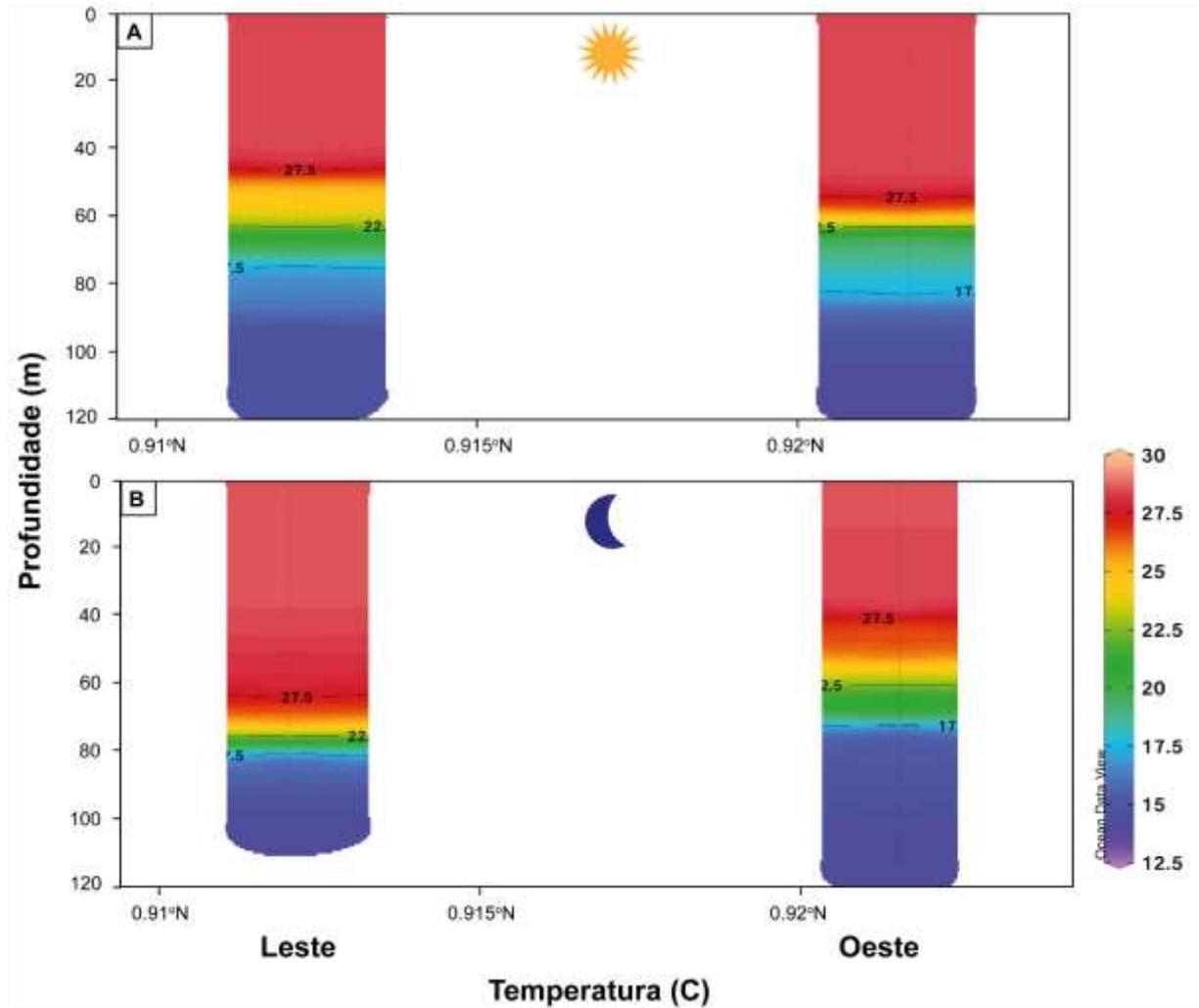


Figura 3 – Comparação da variação de temperatura com a profundidade entre os pontos Leste e Oeste: A – Dia e B – Noite. Fonte: O autor (2023).

Para as análises químicas, foi verificado os valores de nutrientes inorgânicos dissolvidos (nitrito, nitrato, fosfato, amônia e silicato), expressos em $\mu\text{mol.l}^{-1}$, durante períodos diurno e noturno, em ambos os pontos de coleta e em três profundidades (superfície, 60 e 200 metros).

Tabela 1 - Valores de nutrientes ($\mu\text{mol.l}^{-1}$) de acordo com cada estação no Arquipélago São Pedro e São Paulo- NE, Brasil. Legenda: Prof=Profundidade; ND=Não detectável; PO_4^{3-} =fosfato; NO_2^- =Nitrogênio; NO_3^- =Nitrato; NH_4^+ =Amônio; Si(OH)_4 =Ácido Ortossilícico. Fonte: O autor (2024)

Pontos	Turno	Prof.	PO ₄ ³⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Si(OH) ₄
Leste	Diurno	Sup	0.03	ND	0.02	0.06	1.70
Leste	Noturno	Sup	0.09	ND	ND	0.06	0.50
Leste	Diurno	60m	0.07	ND	1.06	0.02	3.10
Leste	Noturno	60m	0.11	ND	ND	0.10	4.5
Leste	Diurno	200m	0.91	ND	6.76	0.15	6.8
Leste	Noturno	200m	1.09	ND	18.74	0.10	4.5
Oeste	Diurno	Sup	0.16	ND	ND	0.08	1.70
Oeste	Noturno	Sup	0.25	0.21	0.38	0.02	3.00
Oeste	Diurno	60m	0.68	0.22	5.12	0.08	6.00
Oeste	Noturno	60m	0.38	0.45	1.85	0.06	3.50
Oeste	Diurno	200m	1.19	ND	13.39	ND	7.00
Oeste	Noturno	200m	1.15	ND	14.22	0.02	8.20

Os teores dos nutrientes apresentaram, de uma forma geral, concentrações baixas, estando em alguns momentos inferior ao limite mínimo de detecção (ND), como no caso do nitrito e do nitrato. Embora isso seja esperado em áreas oligotróficas, é possível perceber diferenças nos valores entre as coletas diurnas e noturnas e entre as profundidades.

5.1 COMPOSIÇÃO DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA

A composição específica do microfitoplâncton do Arquipélago São Pedro e São Paulo esteve composta por 33 táxons distribuídos em três filós: Myzozoa (29 dinoflagelados), Bacillariophyta (2 diatomáceas) e Cyanobacteria (2 espécies).

A presença das espécies marinhas *Trichodesmium erythraeum* e *T. thiebautii* (Figura 5 - D e E) representam as características oligotróficas do ambiente, onde embora tenha sido contabilizado uma maior quantidade de espécies de dinoflagelados, houve uma dominância das cianobactérias em relação ao número de células por litro.

A densidade celular variou de 1380 Cél.L⁻¹ (Leste) a 940 Cél.L⁻¹ (Oeste) com maiores densidades ocorrendo no ponto leste (Figura 4). É possível também observar diferenças no quantitativo de organismos se compararmos os pontos de amostragem com o turno coletado, onde os períodos Leste Diurno (920 Cél/L⁻¹) e Oeste Diurno (540 Cél/L⁻¹) apresentaram maiores densidades que Leste Noturno (460 Cél/L⁻¹) e Oeste Noturno (400 Cél/L⁻¹).

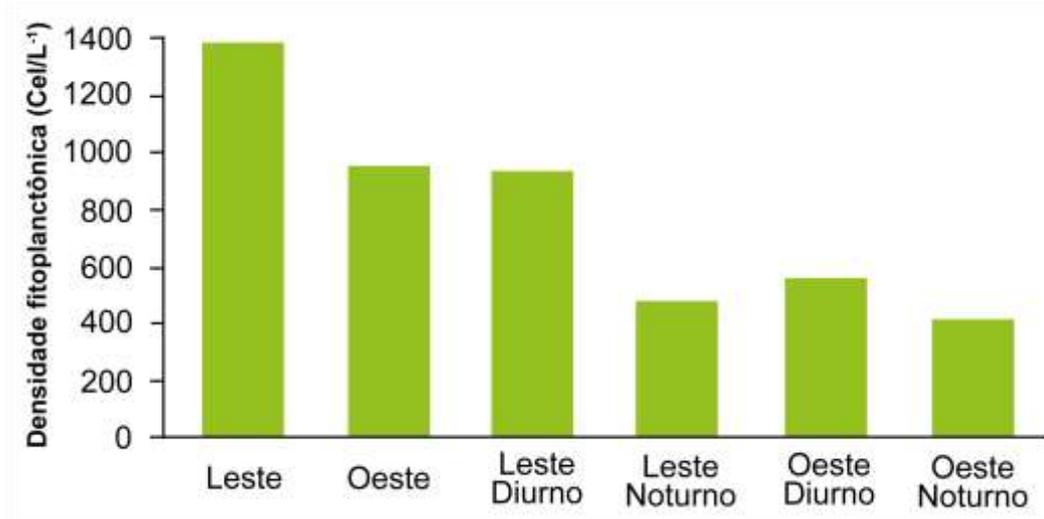


Figura 4 – Densidade celular (Cél/L⁻¹) do fitoplâncton nos pontos de coleta do Arquipélago São Pedro e São Paulo – NE, Brasil. Fonte: O autor (2024).

O filo Cyanobacteria foi o mais representativo, uma vez que as duas espécies identificadas (*T. erythraeum* e *T. Thiebautii*) foram consideradas como muito frequentes ($\geq 70\%$), tendo ocorrido em todos os pontos de coleta.

Entre os táxos identificados do filo Myzozoa, apenas 9 espécies foram consideradas muito frequentes (*Tripus fusus*; *Tripus lineatus*; *Tripus pentagonus* (Figura 5 – I); *Tripus teres*; *Tripus muelleri*; *Gonyaulax digitalis*; *Prorocentrum compressum*; *Prorocentrum gracile* e *Protoceratium reticulatum*), enquanto o restante dos dinoflagelados foi categorizado como sendo frequentes ($70 > 40\%$) e pouco frequentes ($\leq 40 > 10\%$).

O filo Bacillariophyta registrou apenas com duas espécies identificadas, sendo a *Thalassiosira leptopus* (Figura 5 – C) considerada frequente e a *Hemiaulus sinensis* como pouco frequente, porém, ambas apenas ocorreram no ponto Oeste.

Tabela 2 – Composição taxonômica do fitoplâncton no Arquipélago São Pedro e São Paulo-NE, Brasil. Cel.L⁻¹ – Densidade celular de cada organismo; FO (%) – Frequência de ocorrência; * - Espécies separadas para fotomicrografias. Fonte: O autor (2024)

Taxa	Leste	Oeste	FO
	Cel.L ⁻¹	Cel.L ⁻¹	%
CYANOBACTERIA			
<i>Trichodesmium erythraeum</i> Ehrenberg ex Gomont *	280	160	100
<i>Trichodesmium thiebautii</i> Gomont ex Gomont *	500	360	100
MYZOZOA			
DINOPHYSALES			
DINOPHYSAEAE			
<i>Dinophysis exigua</i> Kofoid & Skogsberg			25

<i>Histioneis hippoperoides</i> Stein			25
<i>Ornithocercus steinii</i> Schütt *			25
OXYPHYSACEAE			
<i>Phalacroma rotundatum</i> (Claparèd & Lechmann) Kofoid & Michener			25
GONYAULACALES			
CERATIACEAE			
<i>Tripes candelabrum</i> (Ehrenberg) F.Gómez			50
<i>Tripes declinatus</i> (G.Karsten) F.Gómez			25
<i>Tripes falcatus</i> (Kofoid) F.Gómez			25
<i>Tripes furca</i> (Ehrenberg) F.Gómez *			50
<i>Tripes fusus</i> (Ehrenberg) F.Gómez			75
<i>Tripes lineatus</i> (Ehrenberg) F.Gómez			75
<i>Tripes longirostrum</i> (Gourret) Hallegraef & Huisman	60		50
<i>Tripes macroceros</i> (Ehrenberg) F.Gómez *			50
<i>Tripes muelleri</i> Bory de Saint-Vincent	100		75
<i>Tripes pentagonus</i> (Gourret) F.Gómez *	100	60	75
<i>Tripes reflexus</i> (Cleve) F.Gómez			25
<i>Tripes teres</i> (Kofoid) F.Gómez	60	40	75
GONYAULACACEAE			
<i>Gonyaulax spinifera</i> (Claparède & Lachmann) Diesing			50
<i>Gonyaulax digitale</i> (Pouchet) Kofoid		60	75
PODOLAMPADACEAE			
<i>Podolampas palmipes</i> Stein		50	
PROTOCERATIACEAE			
<i>Ceratocorys horrida</i> Stein			25
PROTOPERIDINIACEAE			
<i>Protoperidinium elegans</i> (Cleve) Balech			25
<i>Protoperidinium pellucidum</i> Bergh			25
OXYTOXACEAE			
<i>Oxytoxum sceptrum</i> (F.Stein) Schröder			50
<i>Oxytoxum scolopax</i> Stein *			25
PROROCENTRACEAE			
<i>Prorocentrum compressum</i> (Bailey) T.H.Abé ex J.D.Dodge	220	200	100
<i>Prorocentrum gracile</i> F.Schütt *	60	60	75
<i>Prorocentrum mexicanum</i> Osorio-Tafall			25
<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg			25
<i>Protoceratium reticulatum</i> (Claparède & Lachmann) Bütschli			75
BACILLARIOPHYTA			
COSCINODISCACEAE			
<i>Thalassiosira leptopus</i> (Grunow) Hasle & G.Fryxell *			50
HEMIAULACEAE			
<i>Hemiaulus sinensis</i> Greville			25

Por meio da análise quantitativa, acerca da abundância relativa das cianobactérias, a espécie *Trichodesmium thiebautii* foi classificada como dominante (>50%) no ponto Leste noturno a 60 metros e no ponto Oeste noturno superficial, sendo também os organismos mais representativos, pois ocorreram em todos os pontos de coleta.

Os dinoflagelados, apesar de terem apresentado um maior número de espécies, tiveram baixa abundância durante o período amostrado, em especial *Prorocentrum compressum* sendo classificado como abundante (33%), enquanto *Triplos teres* (4%) e *Prorocentrum gracile* (4%) (Figura 5 – G) classificados como raros.

O grupo Bacillariophyta foi o grupo com menos organismos encontrados, tendo apenas duas espécies identificadas nas amostras de rede, porém, nenhum organismo foi contabilizado durante as análises quantitativas.

Quanto aos fatores de análise, foi observada diferença estatística apenas no fator Nictemeral (Dia vs. Noite, teste de Kruskal-Wallis, $p=0,05$), onde o Dia mostrou uma maior abundância fitoplanctônica em comparação com a Noite. Para os outros fatores, não foram encontradas diferenças estatísticas significativas (Transecto Leste vs. Oeste, $p=0,45$; Profundidade, Superfície vs. 60 metros, $p=0,88$) (Figura 6).

Ao analisar o fator Nictemeral em relação aos Transectos, foram observadas diferenças estatísticas significativas: Leste dia vs. Leste noite (teste de Mann-Whitney, $p<0,0006$); Oeste dia vs. Oeste noite (teste de Mann-Whitney, $p<0,0001$).

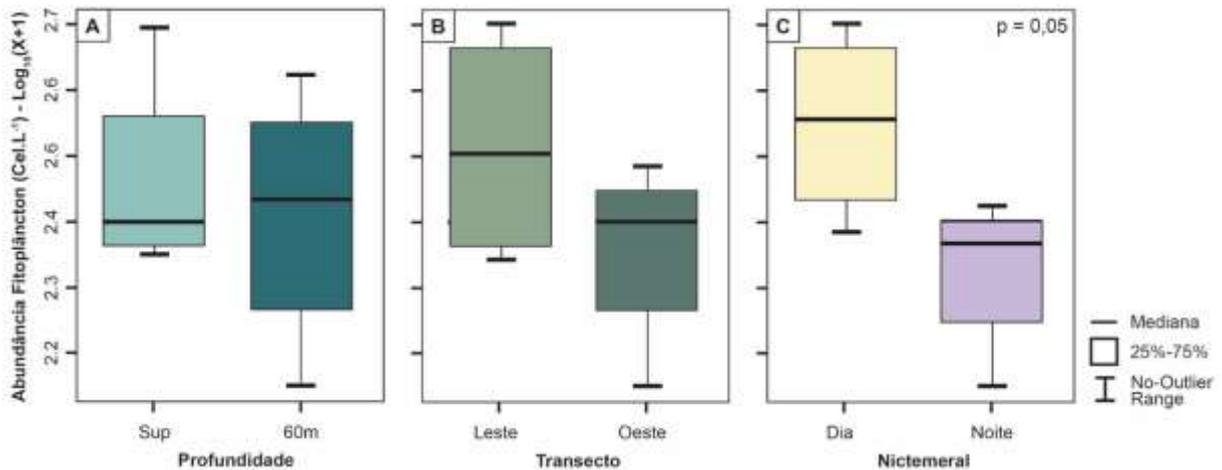


Figura 5 - Box-Plot (mediana e quartis) representando o $\text{Log}_{10}(X+1)$ da abundância fitoplanctônica por: (A) Profundidade: Superfície e 60 metros, (B) Transecto: Leste e Oeste e (C) Nictemeral: Dia e Noite. Amostras coletadas em garrafa de Niskin em 2023 no Arquipélago São Pedro e São Paulo- NE, Brasil.

Os resultados das análises do índice de Shannon mostraram que os níveis de diversidade variaram de 2,46 bits.Cel⁻¹ (indicando baixa diversidade) a 3,09 bits.Cel⁻¹ (indicando alta diversidade). Da mesma forma, a equitabilidade (Pielou) também variou, indo de 0,66 a 0,74 (alta equitabilidade).

A análise da diversidade mostrou que os pontos Leste Diurno e Oeste diurno apresentaram alta diversidade (>2,5 bits.Cel⁻¹). O maior índice de diversidade foi registrado no ponto Oeste diurno, com valor de 3,08 bits.Cel⁻¹. O menor índice de diversidade foi atribuído ao Leste noturno, registrando 2,22 bits.Cel⁻¹.

Os valores de equitabilidade indicaram uma distribuição equitativa das espécies na comunidade, com os valores acima de 0,5 em todas as amostras, possivelmente atribuído as características de uma região oceânica e oligotrófica. No entanto, o ponto Oeste diurno foi o que apresentou a equitabilidade mais baixa dentre as amostras ($J' = 0,66$).

Apesar dessa distribuição equitativa entre os pontos de coleta, por meio da análise estatística foram observadas diferenças significativas entre o período Diurno e Noturno (Kruskal-Wallis, $p = 0,05$), sendo perceptível também pela diferença na densidade celular de organismos nos pontos de coleta (Figura 4). Na tabela 3 é possível observar uma presença maior de espécies durante o dia em comparação ao que é encontrado a noite, onde mesmo com essa diferença, os dinoflagelados foram dominantes nos dois turnos.

Tabela 3 – Composição taxonômica do fitoplâncton nos dois pontos de coleta durante os períodos diurno e noturno (presença e ausência) no Arquipélago São Pedro e São Paulo- NE, Brasil. Fonte: O autor (2024).

Taxa	Dia	Noite
CYANOBACTERIA		
<i>Trichodesmium erythraeum</i> Ehrenberg ex Gomont	X	X
<i>Trichodesmium thiebautii</i> Gomont ex Gomont	X	X
MYZOOA		
DINOPHYSALES		
DINOPHYSAEAE		
<i>Dinophysis exigua</i> Kofoid & Skogsberg	X	
<i>Histioneis hippoperoides</i> Stein	X	
<i>Ornithocercus steinii</i> Schütt	X	
OXYPHYSAEAE		
<i>Phalacroma rotundatum</i> (Claparèd & Lechmann) Kofoid & Michener		X
GONYAULACALES		
CERATIACEAE		
<i>Tripos candelabrum</i> (Ehrenberg) F.Gómez	X	

<i>Tripos declinatus</i> (G.Karsten) F.Gómez	X	
<i>Tripos falcatus</i> (Kofoid) F.Gómez	X	
<i>Tripos furca</i> (Ehrenberg) F.Gómez	X	
<i>Tripos fusus</i> (Ehrenberg) F.Gómez	X	X
<i>Tripos lineatus</i> (Ehrenberg) F.Gómez	X	X
<i>Tripos macroceros</i> (Ehrenberg) F.Gómez	X	
<i>Tripos muelleri</i> Bory de Saint-Vincent	X	X
<i>Tripos pentagonus</i> (Gourret) F.Gómez	X	X
<i>Tripos reflexus</i> (Cleve) F.Gómez	X	
<i>Tripos teres</i> (Kofoid) F.Gómez	X	X
GONYAULACACEAE		
<i>Gonyaulax spinifera</i> (Claparède & Lachmann) Diesing	X	X
<i>Gonyaulax digitale</i> (Pouchet) Kofoid	X	X
PODOLAMPADACEAE		
<i>Podolampas palmipes</i> Stein	X	
PROTOCERATIACEAE		
<i>Ceratocorys horrida</i> Stein	X	
PROTOPERIDINIACEAE		
<i>Protoperidinium elegans</i> (Cleve) Balech	X	
<i>Protoperidinium pellucidum</i> Bergh	X	
OXYTOXACEAE		
<i>Oxytoxum sceptrum</i> (F.Stein) Schröder	X	
<i>Oxytoxum scolopax</i> Stein	X	
PROROCENTRACEAE		
<i>Prorocentrum compressum</i> (Bailey) T.H.Abé ex J.D.Dodge	X	X
<i>Prorocentrum gracile</i> F.Schütt	X	X
<i>Prorocentrum mexicanum</i> Osorio-Tafall	X	X
<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg	X	
<i>Protoceratium reticulatum</i> (Claparède & Lachmann) Bütschli	X	X
BACILLARIOPHYTA		
COSCINODISCACEAE		
<i>Thalassiosira leptopus</i> (Grunow) Hasle & G.Fryxell	X	X
HEMIAULACEAE		
<i>Hemiaulus sinensis</i> Greville	X	

Para a representação visual desses organismos, foram confeccionadas fotomicrografias de 9 táxons que correspondem a espécies identificadas com destaque no trabalho, representados na Figura 6.

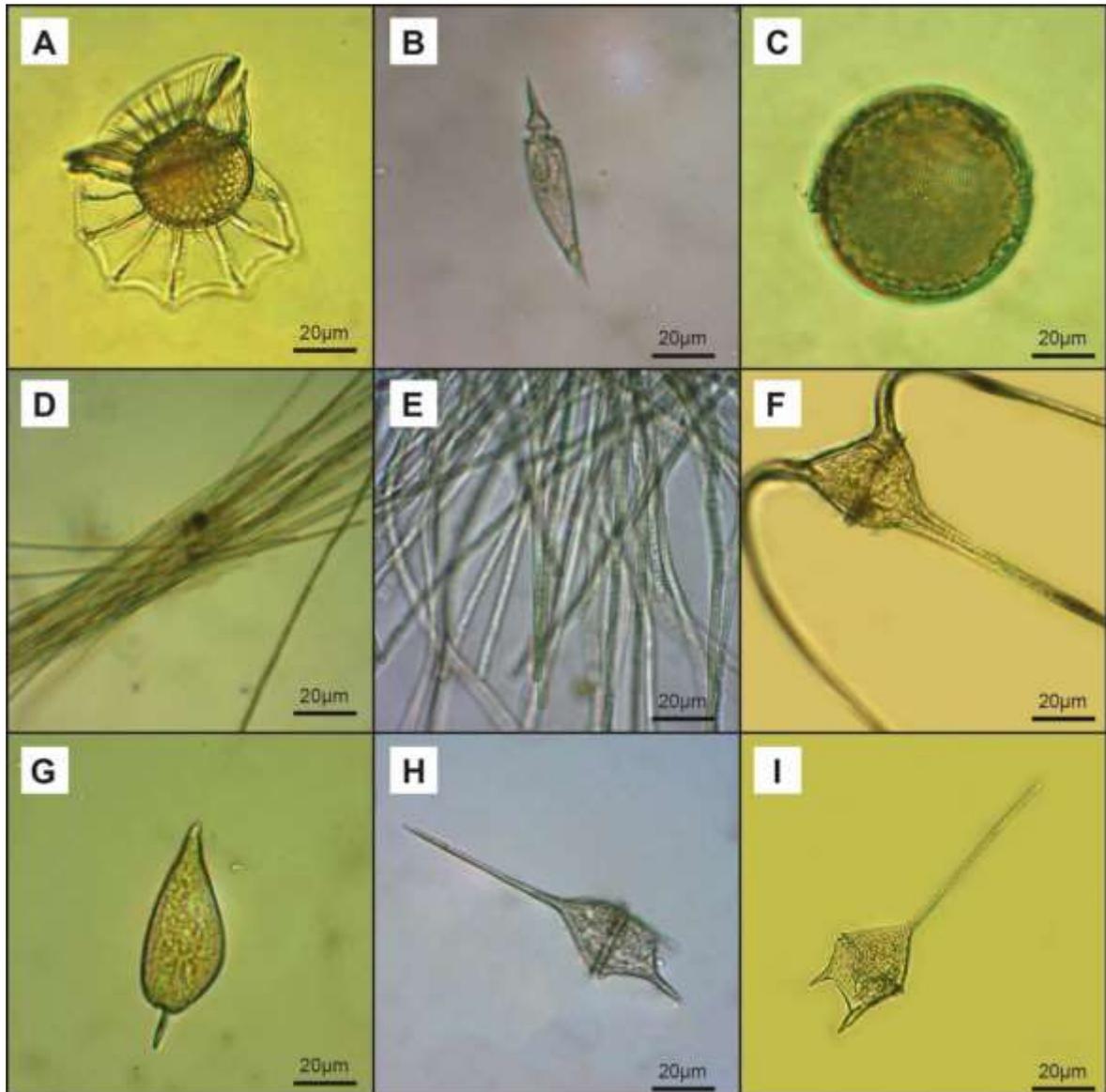


Figura 6 - Microfotografias de organismos fitoplanctônicos encontrados no Arquipélago São Pedro e São Paulo: A – *Ornithocercus steinii*; B – *Oxytoxum scolopax*; C – *Thalassiosira leptopus*; D – *Trichodesmium erythraeum*; E – *Trichodesmium thiebautii*; F – *Tripos macroceros*; G – *Prorocentrum gracile*; H – *Tripos furca* e I – *Tripos pentagonus*.

5.2 BIOMASSA E TEORES DA CLOROFILA A

Em relação aos níveis de clorofila *a* encontrados no ASPSP, as figuras 7 A e B representam os teores totais de clorofila *a* e da fração de pico-nanoplâncton (< 20µm), respectivamente, revelando uma variação significativa entre os períodos diurno e noturno, bem como entre os pontos Leste e Oeste. Em relação à diferença entre os períodos, nota-se que os valores mais elevados foram observados durante o dia, especialmente na superfície e a uma

profundidade de 60 metros, enquanto os valores mais baixos foram registrados durante a noite e a uma profundidade de 200 metros, com exceção do teor total de clorofila *a* no ponto leste durante a noite (superfície e a 60 metros de profundidade).

Em relação à variação espacial, observou-se que o ponto Leste exibiu os níveis mais elevados de clorofila, tanto em termos totais quanto fracionados. O ponto Leste diurno a uma profundidade de 60 metros registrou o máximo de clorofila *a* total, enquanto o ponto Leste diurno a 60 metros registrou o máximo de clorofila *a* fracionada.

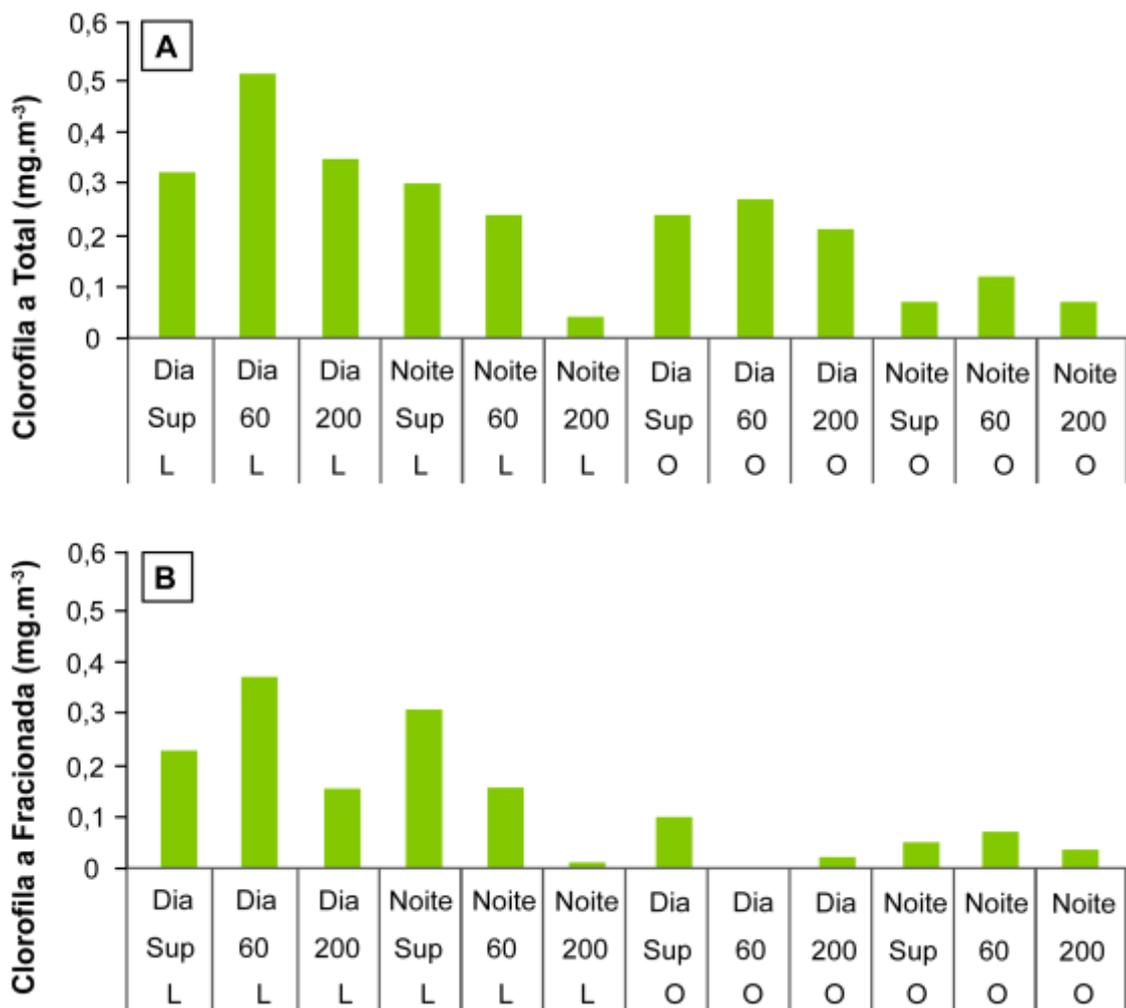


Figura 7 – Teores de clorofila *a*: A - Variação da clorofila *a* (mg.m⁻³) total e B - Variação da clorofila (mg.m⁻³) fracionada do fitoplâncton nos pontos de coleta do Arquipélago São Pedro e São Paulo – NE, Brasil

Em relação aos fatores analisados, foi detectada diferença estatística somente no fator Transecto para a clorofila *a* total (Leste vs. Oeste, teste de Kruskal-Wallis, $p=0,05$), com o Leste

exibindo valores mais elevados em comparação com a Oeste. Para os demais fatores e frações da clorofila, não foram encontradas diferenças estatísticas significativas.

5.2 DISTRIBUIÇÃO DO FITOPLÂNCTON EM FUNÇÃO AOS PARÂMETROS ABIÓTICOS.

Também foi conduzida uma Análise de Redundância (RDA) para a área total do ASPSP, investigando a relação entre os dados abióticos coletados e as espécies mais abundantes. O RDA explicou 53,5% da variação na distribuição das espécies mais abundantes em relação aos dados abióticos (Figura 8), com o primeiro eixo (RDA1) explicando 79,8% da variação e o segundo eixo (RDA2) explicando 27,1%. A análise do gráfico revelou uma associação positiva entre a distribuição de *T. erythraeum*, *T. thiebautii* e *P. compressum* com o NO_2^- . Por outro lado, *P. gracile* mostrou uma correlação negativa com o NO_2^- e outros compostos. As concentrações totais de clorofila *a* tiveram associação negativa a salinidade e temperatura e positiva ao NO_3^- entretanto a clorofila *a* fracionada, teve associação positiva ao Si(OH)_4 e o PO_4^{3-} .

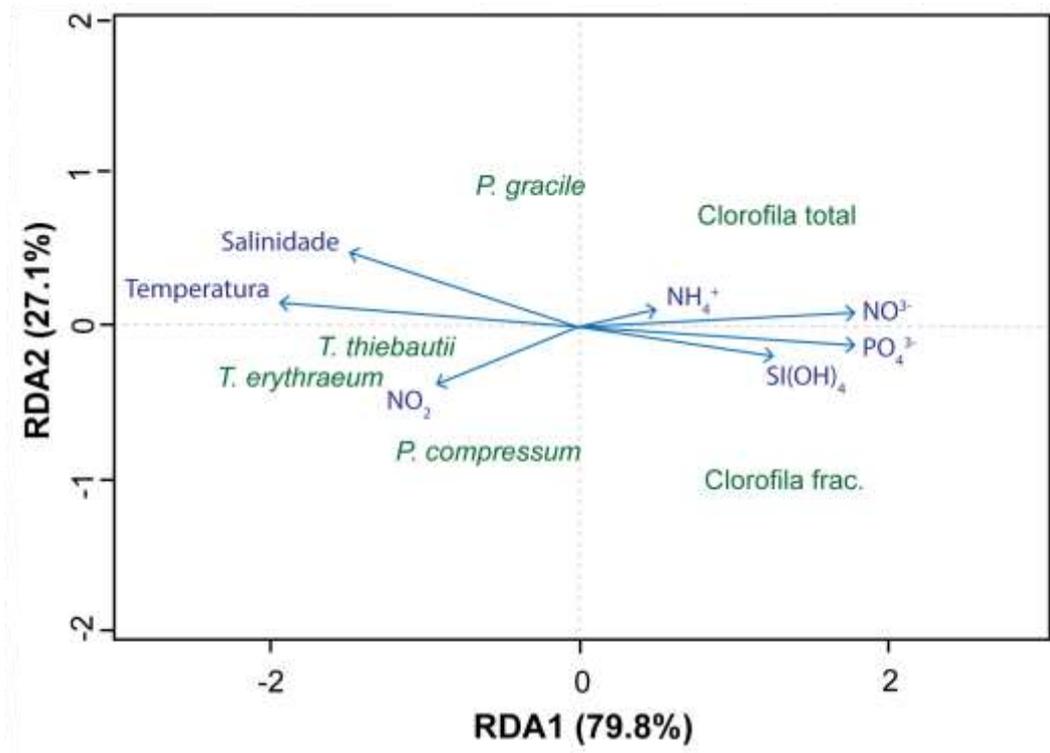


Figura 8 - Análise de redundância (RDA) para a área total do ASPSP em relação os dados abióticos (Salinidade, Temperatura, NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , Si(OH)_4 e NH_4^+) e as espécies mais abundantes (*T. erythraeum*, *P. compressum*, *T. thiebautii* e *P. gracile*).

Na Figura 8 é perceptível a correlação direta entre *T. erythraeum* e *T. thiebautii* com o NO_2 , uma vez que essas espécies, por meio dos heterocistos, conseguem fixar esse composto que é essencial para os processos básicos da produtividade primária. Em contrapartida, *P. gracile* apresentou uma correlação negativa com os nutrientes, pois organismos dessa espécie são tipicamente heterotróficos.

A clorofila a (total e fracionada) apresentou de forma geral, correlação positiva com os nutrientes dissolvidos. Esse fato é esperado, uma vez que as espécies do fitoplâncton utilizam esses nutrientes para a fotossíntese, fisiologia, reprodução e crescimento.

6. DISCUSSÃO

6.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

O Arquipélago de São Pedro e São Paulo é uma formação topográfica que influencia a dinâmica das correntes na área oceânica do nordeste do Brasil. É reconhecido como um ecossistema de importância fundamental para a vida marinha na região equatorial do Oceano Atlântico, devido à sua alta produtividade biológica e diversidade de espécies selvagens (MACEDO et al., 2009).

Em geral, as zonas tropicais dos oceanos são caracterizadas por serem oligotróficas e possuírem baixa produtividade biológica. Apesar dessas características, ainda é possível observar áreas com uma grande diversidade devido aos fluxos verticais de nutrientes e outros fatores (LONGHURST & PAULY, 1987). Esse caráter oligotrófico é explicado pela existência de uma termoclina permanente na região, a qual não permite a mistura de águas profundas ricas em nutrientes com águas superficiais. Nestas áreas, as possíveis misturas que ocorrem ao longo da coluna de água são promovidas por mecanismos diversificados, como: ventos, interações entre as correntes oceânicas e/ou o relevo submarino, mistura de massas d'água, entre outros (TRAVASSOS *et al.*, 1999).

O arquipélago é influenciado por duas correntes que se movem para oeste na superfície do mar: a Subcorrente Equatorial (SCE) e a Corrente Sul Equatorial (CSE). Levando isso em consideração, torna-se evidente que, mesmo durante o dia, as temperaturas do lado oeste tendem a ser mais baixas e que há um aumento na profundidade das áreas com temperaturas mais frias ao longo da coluna d'água (Figura 3 – A e B). Apesar das pequenas variações observadas, o ASPSP apresenta-se como um ambiente relativamente estável, ou seja, sem variações significativas em termos de temperatura e salinidade, quando comparado ao local de coleta e aos diferentes períodos analisados.

Nas regiões oceânicas tropicais e subtropicais, observa-se uma estrutura vertical e horizontal da água com poucas alterações físicas, caracterizadas pela presença da termoclina entre as profundidades de 60 e 120 m. Normalmente, a termoclina localiza-se entre 80 e 90 m de profundidade, enquanto no arquipélago, a profundidade da termoclina variou de 45 a 65 m. De acordo com Philips *et al.*, (2002), a temperatura exerce influência no metabolismo dos organismos fitoplanctônicos, aumentando as taxas de fotossíntese, crescimento e reprodução desses organismos.

Os valores de salinidade e temperatura encontrados neste estudo são coerentes com as pesquisas de Valentin *et al.*, (2007) para a região central da Zona Econômica Exclusiva

Brasileira, Cordeiro *et al.*, (2013) em estudos na cadeia de Fernando de Noronha, e Zagaglia (1998), Macedo *et al.*, (2009) e Macedo-Soares *et al.*, (2009) no Arquipélago de São Pedro e São Paulo.

A distribuição dos nutrientes nos oceanos é influenciada pela circulação oceânica, pelo consumo de processos biológicos, pela ressuspensão e mineralização, pela deposição de fragmentos de matéria orgânica ao longo da coluna d'água e subsequente regeneração dos nutrientes, e pelo influxo continental. Para a região oceânica do Nordeste do Brasil, Flores-Montes (2003) afirmou que o nitrogênio é o nutriente limitante dos processos básicos da produtividade primária, especialmente para as espécies de cianoactérias encontradas.

É possível perceber uma diferença nos valores entre as coletas diurnas e noturnas, possivelmente devido a atividade fitoplanctônica que acontece durante o dia. Outro ponto a ser observado são os valores relativamente altos de nutrientes coletados a 200 metros de profundidade, sendo possivelmente um reflexo da influência da termoclina permanente que existe na região, impedindo que haja uma ciclagem de nutrientes com a camada superior e conseqüentemente, fazendo com que a camada inferior seja rica em nutrientes, uma vez que também não existe atividade fotossintética fora da PMC.

Existe um padrão de aumento na quantidade de nutrientes proporcional ao aumento da profundidade e isso corrobora com o que foi apresentado anteriormente, onde uma vez que existe uma barreira física permanente combinada com a baixa atividade fotossintética, observa-se a criação de duas áreas com parâmetros físico-químico distintos.

Por fim, os nutrientes apresentaram uma relação linear inversa com a temperatura e a salinidade. Isso pode ser explicado pelo ciclo de fotossíntese e decomposição, onde esse ciclo começa quando os nutrientes dissolvidos são incorporados à matéria orgânica viva pelo fitoplâncton. Posteriormente, quando o fitoplâncton morre, os nutrientes são regenerados ou liberados, à medida que as bactérias decompõem o material (CASTRO & HUBER, 2000).

6.2 COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA

O total de espécies encontradas na área de estudo é típico de ambientes oligotróficos relativamente distantes da costa e aparentemente livre de influências continentais, porém, se comparado com outros ambientes como plataforma continental (ESKINAZI-LEÇA & PASSAVANTE, 1972; PASSAVANTE, 1979; KOENING & MACÊDO, 1999; MEDEIROS *et al.*, 1999; GALVÃO, 2000; ESKINAZI-LEÇA *et.al.*, 2002; KOENING & LIRA, 2005;

KOENING *et al.*, 2009) e regiões costeiras (JALES *et al.*, 2012; MACHADO, 2015; FERREIRA, 2014; BASTOS *et al.*, 2011), o quantitativo de espécies é inferior.

Dos 33 táxons registrados para a área, 29 pertencem aos dinoflagelados, em sua maioria representado pelo gênero *tripos*, que é um componente muito importante do fitoplâncton marinho. Esse gênero está presente em todos os oceanos do mundo, tendo um significativo alcance biogeográfico, desde as águas quentes dos trópicos até as frias águas polares, onde em termos de biomassa, ele é um dos componentes principais devido a sua fototrofia (DODGE & MARSHALL, 1994).

As espécies dos dinoflagelados encontrados apresentam ampla diversidade morfológica, nutricional e de habitats incluindo espécies cosmopolitas, de águas tropicais e subtropicais, presentes em sistemas oceânicos (LICEA *et al.*, 1995; STEIDINGER & TANGEN, 1997; SMAYDA & REYNOLDS, 2003; TENENBAUM, 2004; GÓMEZ, 2003, 2005). A dominância desse grupo foi reportada em outras ilhas oceânicas brasileiras como em Abrolhos (SUSINI-RIBEIRO, 1999) e Trindade e Martin-Vaz (TENENBAUM *et al.*, 2007).

A capacidade desses organismos de realizarem heterotrofia e autotrofia favorece a competição como estratégia adaptativa ao longo da cadeia alimentar (ELBRACHTER, 1991), como também, ajudam a determinar direta e indiretamente a fertilidade do mar (BALECH, 1988). Grande parte do benefício dos dinoflagelados nesses ambientes é também devido a sua habilidade de migração vertical, além da capacidade mixotrófica (HOPPENRATH *et al.*, 2009, SHERR & SHERR, 2007), o que explica a frequência com que os organismos aparecem nas amostras.

Um exemplo da capacidade adaptativa são as espécies componentes da família Dinophyceae que possuem uma alta diversidade, com organismos autotróficos, mixotróficos e heterotróficos, além de algumas serem produtoras de ficotoxinas (TAYLOR *et al.*, 2003; CARPENTER, 2004; NAGAI *et al.*, 2008).

Nas amostras foram encontradas espécies tipicamente heterotróficas como *Phalacroma rotundatum* e *Tripes furca* (Figura 5 – H), comuns em águas tropicais, temperadas, com distribuição oceânica e costeira (WOOD, 1968; SOURNIA, 1973). Foram registradas também espécies tipicamente autotróficas como *Tripes macroceros* (Figura 5 – F) e *Tripes lineatus*, que comprovam a capacidade adaptativa desses organismos.

O gênero *Prorocentrum* apresenta uma ampla distribuição em águas quentes e é mais frequente em zonas neríticas do que em águas oceânicas (BALECH, 1988). De acordo com Islabão & Odebrecht (2011), a espécie *Prorocentrum micans* está relacionada à sobrevivência em temperaturas que variam de 12,9 a 26,1°C e níveis de salinidade que variam de 26,5 a 37, o

que condiz com os dados encontrados neste estudo, onde as temperaturas das amostras em que esta espécie esteve presente variaram de 18,57 a 28,50°C e a salinidade variou de 34 a 36.

As espécies fitoplanctônicas identificadas na área estudada, sugerem uma ligação entre as espécies das áreas insulares e a plataforma continental brasileira, uma vez que algumas dessas espécies são consideradas indicadoras da Corrente do Brasil, especialmente aquelas pertencentes ao gênero *Tripos*. Para áreas insulares, como Fernando de Noronha, Ilha de Trindade e o ASPSP, esse gênero tem destaque pela elevada riqueza, densidade celular e frequência de ocorrência (LUBIANA *et al.*, 2009; AQUINO, 2016).

Dessas espécies identificadas, algumas são referidas como indicadoras de águas da Corrente do Brasil, como é o caso de *Tripos candelabrum*, *Tripos declinatus*, *Tripos longirostrum*, *Tripos pentagonus*, *Tripos muelleri* e *Ornithocercus steinii* (Figura 5 – A) (BALECH, 1988).

Apesar do grupo dos dinoflagelados representar a maioria dos táxons registrados, eles não foram os responsáveis pela dominância na área de estudo. O gênero *Trichodesmium* foi o grupo mais representativo e é predominantemente encontrado na superfície de águas oceânicas oligotróficas, tropicais e subtropicais. Ele é abundantemente presente nas correntes de oeste, na parte tropical dos giros centrais e em diversos mares marginais (CAPONE *et al.*, 1997, TYRREL *et al.*, 2003).

A predominância de espécies de cianobactéria, como *T. erythraeum* e *T. thiebautii* Gomont, em águas oligotróficas comprova a adaptação de tais espécies a esse ambiente. As características desses organismos que promovem seu desenvolvimento nesse ambiente oligotrófico incluem sua habilidade de fixar N₂ através dos heterocistos e sua flutuabilidade natural (que o posiciona na coluna d'água superior) e um aparelho fotossintético adaptado a um regime de alta luminosidade (MARGALEF, 1978; CARPENTER *et al.*, 1997), onde isso acaba corroborando com o alto número de organismos encontrados nos pontos amostrados.

Diversos estudos também reportam a presença constante do gênero *Trichodesmium* e de como as condições ambientais podem levar a fenômenos constantes de florações em outros ambientes, como na Plataforma Continental de Pernambuco (SATÔ *et al.*, 1963; KOENING & MACÊDO, 1999 e MEDEIROS *et al.*, 1999; ESKINAZI-LEÇA *et al.*, 2004) e em regiões subtropicais (GIANESELLA-GALVÃO *et al.*, 1995; FERNANDES & BRANDINI, 1999; SIQUEIRA *et al.*, 2006; CARVALHO *et al.*, 2008).

Vários fatores podem afetar os organismos fitoplanctônicos no ambiente oceânico, e entre eles, as concentrações de ferro e fósforo são as principais responsáveis por limitar algumas espécies, especialmente do gênero *Trichodesmium* (VILLAREAL & CARPENTER, 2003;

MILLS *et al.*, 2004). Segundo Montagnes *et al.*, (1994), a grande variação dos fatores abióticos, tais como variação da luz, temperatura e nutrientes disponíveis interferem no tamanho das células do fitoplâncton e na presença e ou ausência desses organismos na coluna d'água.

Segundo Koenig & Oliveira (2009), classificaram o gênero *Trichodesmium* como gênero chave pela frequência e dominância no Arquipélago São Pedro e São Paulo, em destaque a espécie *T. thiebautii*, sendo responsável pelo aumento da produtividade primária em um ambiente, essencialmente, oligotrófico.

O último e o menor grupo encontrado nas amostras pertence a classe Bacillariophyceae, onde os organismos encontrados foram classificados, respectivamente, como frequente e pouco frequente. As espécies *Thalassiosira leptopus* (50%) e *Hemiaulus sinensis* (25%), foram registradas apenas no ponto Oeste e essa baixa frequência é algo esperado em áreas oceânicas (LONGHURST & PAULY, 2007). Segundo Fernandes & Brandini (1999), esses organismos necessitam de concentrações de nutrientes altas para atingirem seu máximo de crescimento e perpetuarem a sua permanência na coluna d'água, devido a isso, as diatomáceas apresentam teores de biomassa mais expressivos na região da plataforma continental. Isso se dá, principalmente, por conta do silicato, nutriente responsável pela formação de suas frústulas (TRÉGUER *et al.*, 1995). Portanto, a biomassa das diatomáceas tende a ser limitada em águas oligotróficas (AIDAR *et al.*, 1993), o que explica a baixa densidade e número limitado de espécies encontradas no arquipélago.

De forma geral, as diatomáceas predominam em regiões com maior turbulência e alto teor de nutrientes, ao contrário dos dinoflagelados, que são favorecidos em águas com estratificação e baixa concentração de nutrientes, ou seja, as diatomáceas predominam em áreas costeiras e de plataforma, diminuindo progressivamente em direção às águas abertas do oceano, onde a contribuição dos dinoflagelados aumenta significativamente (CULLEN *et al.*, 2002; FERNANDES & BRANDINI, 2004). Por outro lado, as cianobactérias podem atingir altas densidades em águas tropicais marinhas, possivelmente desempenhando um papel fundamental na produtividade primária em situações de escassez de componentes predominantes do fitoplâncton (LALLI & PARSONS, 1997).

Segundo Margalef (1978), um ambiente mais estável implica em um maior grau de organização e complexidade da teia alimentar, com o ambiente podendo apresentar mais nichos e, por conseguinte, mais espécies. No ASPSP, o ponto Leste é um ambiente relativamente protegido e embora apresente interação com as correntes (CAMPOS *et al.*, 2010), essa perturbação não é suficiente para alterar a comunidade desse local, além de apresentar os

maiores valores de temperatura (o que é benéfico para o fitoplâncton), sendo esse ponto de coleta, o que apresentou o maior número de espécies.

No Arquipélago de São Pedro e São Paulo, a diversidade específica e equitabilidade foram altas na quase totalidade das amostras, demonstrando que a comunidade fitoplanctônica está bem distribuída. Nas amostras coletadas durante a noite, a diversidade e equitabilidade decresceram e isso é algo esperado devido a variação diária, as características do fitoplâncton e a herbivoria. Segundo Omori & Ikeda (1984), a diversidade específica indica o grau de complexidade da estrutura da comunidade, decrescendo quando a comunidade se torna dominada por uma ou algumas espécies, quando indivíduos de espécies raras são substituídos por indivíduos de espécies mais comuns, ou quando algumas espécies se reproduzem mais rapidamente, sendo assim, mesmo uma distribuição igual entre os organismos, a dominância ainda é pertencente as cianobactérias.

Por meio da avaliação da composição florística é possível definir zonas biogeográficas funcionais (BOLTOVSKOY, 1986), como também, identificar a origem, caminho e o grau de mistura de diferentes correntes e massas d'água (BALECH, 1986). Em relação a área estudada, o domínio dos dinoflagelados e das cianobactérias se destacam em termos de biodiversidade, classificando essa comunidade como típica de áreas oceânicas que estão inseridas em regiões tropicais.

6.3 BIOMASSA E TEORES DA CLOROFILA A

Os resultados da clorofila a estiveram em conformidade com os descritos por Macedo-Soares *et al.*, (2011), Queiroz *et al.*, (2015), e De Souza *et al.*, (2013), com as concentrações na superfície sendo ligeiramente mais baixas e os padrões de distribuição indicando um aumento na clorofila com a profundidade.

Mesmo na ausência de evidências de ressurgências, Travassos *et al.*, (1999) afirmam que a morfologia do fundo marinho e as misturas que ocorrem na coluna d'água, impulsionadas por mecanismos locais como ventos e interações entre as correntes e/ou o relevo submarino, desempenham um papel crucial no processo de intrusão de nutrientes nas camadas superiores da coluna d'água. Esse fenômeno condiciona um aumento na biomassa e na produtividade primária local, especialmente nas proximidades de ilhas ou montanhas submarinas que atingem ou penetram a termoclina, onde uma concentração significativa de organismos pode ser encontrada.

No entanto, embora haja um aumento nas concentrações de organismos próximo as ilhas oceânicas, isso não se manifesta diretamente nos dados de clorofila analisados, uma vez que os maiores picos foram encontrados em maiores profundidades e não na superfície.

Segundo Medeiros *et al.*, 1999 e De Souza *et al.*, (2013), em águas pobres em nutrientes a taxa de subsidência de nutrientes e do fitoplâncton é significativa, deslocando assim as maiores concentrações de fitoplâncton para camadas mais profundas. Certos dinoflagelados mostram uma baixa tolerância à alta turbulência e têm preferência por águas mais estáveis. A preferência por essa estabilidade parece ser sobreposta pelas condições resultantes da influência dos ventos e correntes, sugerindo que esses eventos podem ser considerados perturbações capazes de favorecer mudanças na estrutura da comunidade (TIBURCIO, 2011).

Os dinoflagelados autotróficos e outros flagelados, em águas estáveis, possuem uma vantagem em relação às diatomáceas e cianofíceas, uma vez que, por meio dos flagelos, são capazes de nadar até os níveis adequados de luz. No entanto, em águas extremamente estáveis, ocorre uma depleção de nutrientes na zona fótica devido à ausência de mistura com as águas profundas ricas em nutrientes. Isso resulta na seleção de uma biota especializada em ambientes oligotróficos, incluindo espécies com movimentação mais lenta. Portanto, os dinoflagelados que nadam mais rapidamente ocupam uma região intermediária, onde a turbulência é baixa, mas não tão baixa a ponto de causar depleção de nutrientes (LEVANDOWSKY & KANETA, 1987).

Essa estratégia de ocupar uma zona intermédia permite que esses organismos otimizem sua posição em relação à disponibilidade de luz e nutrientes, demonstrando uma adaptação eficaz às condições específicas do ambiente e assim, esclarecendo os picos de clorofila *a* encontrados no ponto Leste (área protegida) e em 60 metros, explicando essa alta de produtividade abaixo da superfície.

Outro fator que pode impactar a diminuição da clorofila *a* em camadas superficiais é a herbivoria, onde devido ao microzooplâncton ser o principal grupo de herbívoros consumindo o fitoplâncton, na maior parte dos habitats marinhos (CALBET & LANDRY, 2004), espera-se a existência de uma relação direta entre a densidade destes organismos e a quantidade de clorofila.

7. CONCLUSÃO

- O ASPSP apresenta-se como um ambiente estável em relação à temperatura e salinidade, sendo caracterizado por ser uma zona de baixa concentração de nutrientes, águas muito claras e alta penetração da luz, validando por meio desses dados também, a existência de uma termoclina permanente no local, com influência na estrutura da composição e densidade celular do fitoplâncton.
- De maneira geral, ficou comprovado no que se refere aos nutrientes que estes interferem diretamente na composição do fitoplâncton, especialmente nas espécies de cianobactéria *Trichodesmium erythraeum*, *T. thiebautii* e dinoflagelado *Prorocentrum compressum*, que apresentaram correlação direta com esses dados.
- Outro fator que corrobora com essa influência dos nutrientes é o baixo aparecimento das diatomáceas (devido à pouca quantidade de silicato) e a alta densidade das cianobactérias, devido a sua capacidade de fixação de N₂.
- A maior riqueza de táxons de dinoflagelados e a dominância das cianobactérias, indica uma composição florística específica de ambiente estável, de águas transparentes e regiões oligotróficas.
- Os valores de clorofila *a* foram baixos na superfície e tiveram seu pico em regiões em torno de 60 metros. Esses dados foram coerentes com estudos anteriores e com a oligotrofia de regiões oceânicas tropicais, sendo observada a dominância e a frequência constante da cianobactéria do gênero *Trichodesmium*.
- As características associadas com esses registros biológicos são condizentes com as condições hidrológicas da região, porém, tais resultados ainda são insuficientes para afirmar se realmente há uma modificação da comunidade devido a algum efeito de massa insular no Arquipélago São Pedro e São Paulo.

8. REFERÊNCIAS

- AIDAR-ARAGÃO, E.; TEIXEIRA, C.; VIEIRA, A., Produção primária e concentração de clorofila-a na costa brasileira (Lat. 22°31' S- Long. 41°52' W a Lat28°43' S- Long. 47°57' W). **Boletim do Instituto Oceanográfico**, 1980. São Paulo, v. 29, n. 2, p. 9-14.
- AIDAR, E.; GAETA, S. A.; GIANESELLA-GALVÃO, S. M. F.; KUTNER, M. B. B.; TEIXEIRA, C. Ecossistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila *a* e suas reações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba, SP. **Publicação especial do Instituto Oceanográfico**, 1993. São Paulo, p. 9-43.
- AQUINO, Eveline Pinheiro de. **Fitoplâncton como indicativo das condições oceanográficas de um arquipélago no Atlântico Equatorial** (Fernando de Noronha, Brasil). 2016. 98 f. Tese (Doutorado em Oceanografia) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.
- ARAÚJO, M. & CINTRA, M. Modelagem matemática da circulação oceânica na região equatorial do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. In **O arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de estação científica** (D.L. Viana, F.H.V. Hazin & M.A.C. Souza, orgs). SECIR, Brasília, 2009. p.106-113.
- AVANCINI, M.; CICERO, A. M.; GIROLAMO, I.; INNAMORATI, M; MAGALETTI E.; ZUNINI, T. S. **Guida al riconoscimento del plâncton dei mari italiani**. Volume I Fitoplankton Programma di monitoraggio per il controllo dell'ambiente marino costiero. Ministero dell'Ambiente della Tutela del Territorio e del Mare – DPN ICRAM - Istituto Centrale per la Ricerca Scientifica e Tecnologica Applicata al Mare. 263p. 2006.
- BALECH, Enrique. **De nuevo sobre la oceanografía frente a la Argentina**. Serv. Hidrog. Nav., H., v. 645, p. 1-23, 1986.
- BALECH, E. **Los dinoflagelados del Atlantico Sudoccidental**. Madrid: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentacion, 1988. 310 p. (Publicaciones Especiales Instituto Español de Oceanografía, n. 1). 1988.
- BASTOS, R.B. **Estrutura da comunidade fitoplanctônica da zona costeira de Maracaípe (Ipojuca-Pernambuco)**. 2011. 122p. Tese (Doutorado em Oceanografia) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.
- BECKER, M. **Hidrologia dos Bancos e Ilhas oceânicas do Nordeste Brasileiro, uma Contribuição ao Programa REVIZEE**. São Carlos, 2001, 151f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde. Universidade Federal de São Carlos. 2001.
- BEISNER, B.; PERES-NETO, P., LINDSTRO, E., BARNETT, B, B. & LONGHI, M. 2006. **The role of enviromental and spatial processer in structuring lake communitites from bacteria to fish**. Ecology. 2006. Dec;87(12):2985-91. doi: 10.1890/0012-9658(2006)87[2985:troeas]2.0.co;2. PMID: 17249222. Acesso em: 20 dez. 2023.

BÉRARD-THERRIault, L.; POULIN, M.; BOSSÉ, L. **Guide d'identification du phytoplankton marin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent incluant également certains protozoaires**. Publication special canadienne des sciences halleutiques et aquatiques, 1999. 128 p.

BEZERRA Jr., J. L. **Comunidade planctônica de nêuston: malaco e ictiofauna, na Zona Econômica Exclusiva do Nordeste do Brasil (REVIZEE)**. 126 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 1999.

BOEHLERT, G.W. e W. MUNDAY. 1988. **Roles of behavior and physical factors in larval and juvenile fish recruitment to estuarine nursery area**. American Fisheries Society Symposium 3: 51–67. 1988.

BOLTOVSKOY, Esteban; TOTAH, Violeta T. **Diversidad y similitud en la fauna de foraminiferos bentonicos batiales del cenozoico superior en el sitio 173 del " deep sea drilling project"**. Ameghiniana, v. 23, n. 3-4, p. 161-166, 1986.

BOLTOVSKOY, D. **Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino**. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero Mar del Plata. 1981

BRANDINI, Frederico Pereira. **Planctonologia na plataforma continental do Brasil: diagnose e revisão bibliográfica**. CEMAR/MMA/CIRM/FEMAR, 1997.

CALBET, Albert; LANDRY, Michael R. Phytoplankton growth, microzooplankton grazing, and carbon cycling in marine systems. **Limnology and Oceanography**, v. 49, n. 1, p. 51-57, 2004.

CAPONE, D. G.; ZEHR, J.; PAERL, H. W.; BERGMAN, B.; CARPENTER, E. J. *Trichodesmium*, a globally significant marine Cyanobacterium. **Science**, 276, 1221- 1229. 1997.

CASTRO, M.E. & HUBER, M.E. **Marine Biology**. Boston: McGraw Hill. 2000.

CARPENTER, Edward J. et al. **Biogeochemical tracers of the marine cyanobacterium *Trichodesmium***. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, v. 44, n. 1, p. 27-38, 1997.

CARPENTER, E. J.; SUBRAMANIAM, A.; e CAPONE, D.G. **Biomass and primary productivity of the cyanobacterium *Trichodesmium* spp. in the tropical N Atlantic ocean**. Deep-Sea Research I v. 51, p. 173-203. 2004.

CARVALHO, M.; GIANESELLA, S. M. F.; SALDANHA-CORREA, F. M. P. *Trichodesmium erythraeum* Bloom on the Continental Shelf off Santos, Southeast Brazil. **Brazilian Journal Oceanography** [online] v. 56, n. 4, p. 307-311. 2008.

CAMPOS TFC, NETO JV, SRIVASTAVA NK, PETTA RA, HARTMANN LA, MORAES JFS, MENDES L, SILVEIRA SRM. Arquipélago de São Pedro e São Paulo: Soerguimento tectônico de rochas infracrustais no Oceano Atlântico. In: WINGE, M. et al (Edit.) **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: CPRM, 2009. 2: 515 p.

- CAMPOS, THOMAS FERREIRA DA COSTA *et al.* Arquipélagos de São Pedro e São Paulo: soerguimento tectônico de rochas infracrustais no Oceano Atlântico. **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Brasília: SIGEP, 2005. 12 p.**, 2005.
- CARR, J. M.; HERGENRADER, G. L.; TROELSTRUP, N. H. A simple inexpensive method for cleaning diatoms. **Transactions of American Microscopical Society**, [S.I.], v. 105, p. 152-157, 1986.
- CHAVES, T. B. C.; MAFALDA JR, P.; SANTOS, C.; SOUZA, C. S.; MOURA, G.; SAMPAIO, J.; MELO, G.; PASSAVANTE, J. Z. O.; FEITOSA, F. A. N. **Biomassa planctônica e hidrografia na Zona Econômica Exclusiva do Nordeste do Brasil**. Tropical Oceanography (Revista online), Recife, n. 34, v. 1, p. 12-30. 2006.
- CHRETIÉNNOT-DINNET, M. J.; BILARD, C.; SOURNIA, A. **Chlorarachniophycées, Chlorophycées, Chrysophycées, Cryptophycées, Euglénophycées, Eustigmatophycées, Prasinophycées, Prymnesiophycées, Rhodophycées et Tribophycées**. Paris, Editions du Centre National Recherche Scientifique. (Atlas du phytoplankton marin 3), 1990.
- CIOTTI, AUREA M. *et al.*, Clorofila a, medidas bio-ópticas e produtividade primária. Características hidrobiológicas da região central da zona econômica exclusiva brasileira (Salvador, BA, ao Cabo de São Tomé, RJ). **Série Documentos REVIZEE/SCORE-Central, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2007, p. 61-72, 2007.**
- CLOERN, James E. et al. A cold phase of the East Pacific triggers new phytoplankton blooms in San Francisco Bay. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 47, p. 18561-18565, 2007.
- COELHO, PA, LMA BATISTA-LEITE, MAC SANTOS e MAF TORRES. O manguezal. In: ESKINAZI-LEÇA, E, S NEUMANN-LEITÃO e MF COSTA (Org.). **Oceanografia – Um cenário tropical**. Bagaço, Recife. 2004. 641-688.
- CORDEIRO, I. A.; FEITOSA, F. A. N.; MONTES, M. J. F.; SILVA, M. H. Distribuição sazonal e espacial da clorofila a e variáveis ambientais na plataforma continental de Pernambuco (Porto do Recife), Brasil. **Tropical Oceanography (Online)**, v. 41, p. 60-130, 2013.
- CORDEIRO, T. A.; BRANDINI, F. P.; SASSI, R.; ROSA, R. Deep Chlorophyll Maximum in Western Equatorial Atlantic - How does it Interact with Islands Slopes and Seamounts? **Marine Science**. v. 3, n. 1, p. 30-37. 2013.
- CULLEN, John J. et al. Physical influences on marine ecosystem dynamics. **The sea**, v. 12, p. 297-336, 2002.
- CUPP, E. D. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. **Bulletin of the Institution of Oceanography**, [S.I.], v. 6, p. 1-237, 1943.
- CUVIER, Georges. La regne animale 2. **Poissons**). Paris, 532pp.(reference taken from AR LONGHURST, 1976.), 1817.
- DODGE, J.D. & MARSHALL, H.G. Biogeographic analysis of the armored planktonic dinoflagellate *Ceratium* in the North Atlantic and adjacent seas. **Journal of Phycology**, 1994

30: 905-922. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.0022-3646.1994.00905.x>. Acesso em: 20 Dez. 2023.

DOTY MS, OGURI M. The island mass effect. **Journal de Conseil Permanente International pour l'Exploration de La Mer**, 1956. 22: 33-37. 1956.

DRING, Matthew J.; DRING, M. J. **The biology of marine plants**. Cambridge University Press, 1992.

DUXBURY, A. B.; DUXBURY, A. C. **Fundamentals of oceanography**. 2. Ed. Duduque: Wm. C. Brown Publishers, 1996. 308 p.

EDLER L. (ed.). Phytoplankton and Chlorophyll: Recommendations on Methods for Marine Biological Studies in the Baltic Sea. **Baltic Marine Biologists Publication**. v. 5, p. 1-38, 1979.

EDWARDS, A.; LUBBOCK, R. The ecology of Saint Paul's Rocks (Equatorial Atlantic). **Journal of zoology**, 200, n. 1, p. 51-69, 1983.

EKAU, W.; KNOPPERS, B. An introduction to the pelagic system of the north-east and east Brazilian shelf. **Archive Fisheries Marine Research**, n. 47, v. 2-3, p. 113-132, 1999.

ELBRAHTER, M. Food uptake mechanisms in phagotrophic dnoflagellates and classification. In: **Biology of Free-living Heterotrophic Flagellates.**, p. 303-312, 1991.

ESKINAZI-LEÇA, E.; PASSAVANTE, J. Z. O. Estudo da Plataforma Continental na área do Recife (Brasil). IV. **Aspectos quantitativos do fitoplâncton**. Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, v. 13, p. 83- 106, 1972.

ESKINAZI-LEÇA, E., MOURA, A.N., SILVA-CUNHA, M.G.G. & KOENING, M.L. 2002. Microalgas marinhas do estado de Pernambuco: diagnóstico da biodiversidade de Pernambuco. In: **Diagnóstico da biodiversidade de Pernambuco** (M. Tabarelli & J.M.C. Silva, org.). Secretaria de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente/Editora Massangana, Recife, v. 1, p.79-9.

ESKINAZI-LEÇA, E; SILVA-CUNHA, M. G. G; KOENING, M. L; MACEDO, S. J.; COSTA, K. M. **Variação espacial e temporal do fitoplâncton na plataforma continental de Pernambuco** – Brasil. Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, v. 25, p. 1-16, 1997.

ESKINAZI-LEÇA, E.; KOENING, M. L.; SILVA-CUNHA, M. G. G. Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica. In: ESKINAZI-LEÇA, E.; NEWMANN-LEITÃO, S.; COSTA, M. F. (Org.). **Oceanografia: um cenário tropical**. Recife: Edições Bagaço, p. 353-373. 2004

FEITOSA, F. A. N.; PASSAVANTE, J. Z. O. Produtividade fitoplanctônica e hidrologia do Atol das Rocas (Brasil). In: CHELLAPPA, N. T.; CHELLAPPA, S.; PASSAVANTE, J. Z. O. (Ed.) **Ecologia aquática tropical**. Natal: ServGraf. p. 143- 156. 2004.

FEITOZA, BM, ROCHA LA, LUIZ-JÚNIOR OJ, FLOETER SR, GASPARINI JL Reef fishes of St. Paul's Rocks: new record and notes on biology and zoogeography. **Aqua J. Ichthyol. Aquat. Biol.** 7(2): 61-82, 2003.

- FERNANDES, L. F.; BRANDINI, F. P.; GUTSEIT, K. S.; FONSECA, A. L.; PELIZZARI, F. M. Benthic diatoms growing on glass slides in the Paranaguá Bay, Southern Brazil: taxonomic structure and seasonal variation. **Insula**. 28, p. 53- 100. 1999.
- FERNANDES, L.F. & BRANDINI, F.P. Diatom associations in shelf waters off Parana State, Southern Brazil: annual variation in relation to environmental factors. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 52, p. 19-34, 2004.
- FERRARIO, M., SAR, E.; SALA, S. Metodologia básica para el estudio del fitoplâncton com especial referencia a las diatomeas. In: ALVEAL, K.; FERRARIO, M. E.; OLIVEIRA, E. C.; SAR, E. (org.) **Manual de métodos ficológicos**. Concepción: Universidad de Concepción, 1995. p. 1-23. (Cap. 1).
- FERREIRA, L.C. **Fitoplâncton como indicador da qualidade ambiental em área recifal (APA Costa dos Corais - Pernambuco, nordeste do Brasil)**. 2014. 122 p. Tese (Doutorado em Oceanografia) - CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.
- FINKEL, Z.V.; BEARDALL, J.; FLYNN, K.J.; QUIGG, A.; REES, T.A.V. & RAVEN, J.A. Phytoplankton in a changing world: cell size and elemental stoichiometry. **Journal of Plankton Research**, 2010, 32: 119-137. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1093/plankt/fbp098>. Acesso em: 23 Dez 2023.
- FINLAY, B.J. Global Dispersal of Free-Living Microbial Eukaryote Species. **Science**, 2002, 296: 1061-1063, Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1070710>. Acesso em: 23 Dez 2023.
- FLORES-MONTES MJ. **Fatores que influenciam na produtividade dos oceanos: A importância do fluxo de difusão dos nutrientes para a biomassa do fitoplâncton na região oceânica do nordeste brasileiro**. PE, Brasil. 2003. 198f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2003.
- GAETA, Salvador Airton et al. The Vitória Eddy and its relation to the phytoplankton biomass and primary productivity during the austral fall of 1995. **Archive of Fishery and Marine Research**, v. 47, n. 2/3, p. 253-270, 1999.
- GALVÃO, I.B. **O nanoplâncton e o microplâncton da Zona Econômica Exclusiva do Nordeste do Brasil (REVIZEE - NEII)**. PE, Brasil, 2000. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2000.
- GIANESELLA-GALVÃO, S. M. F; COSTA, M. P. F. & KUTNER, M. B. B.. Bloom de *Oscillatoria (Trichodesmium) erythraeum* (Ehrenberg) Kutzing in coastal waters of the Southwest Atlantic. **Publicação Especial Instituto Oceanográfico** v. 11, p. 133- 140. 1995.
- GILMARTIN, M.; N. REVELANTE. The island mass effect on the phytoplankton and primary production of the Hawaiian Islands. **Journal Expedition Marine Biology Ecology**, v. 16, p. 181-204. 1974.
- GÓMEZ, F. Checklist of Mediterranean Free-living Dinoflagellates. **Botanica Marina**. v. 46, p. 215–242. 2003.
- GÓMEZ, F. A list of free-living dinoflagellate species in the world's oceans. **Acta Botanica Croatia**, n. 64, v. 1, p. 129–212. 2005.

- GRASSHOFF, F. K.; EMRHARDT, M.; KREMLING, K. **Methods of seawater analysis**. 2. ed. Nova Iorque: Verlag Chemie, 1983. 419 p.
- GROSS, M.G & GROSS, E. Oceanography a view of earth. **Inc: Prentice Hall, New Jersey**. 1996.
- GUIRY, M. D.; GUIRY, G. M. **AlgaeBase**. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponível em: <http://www.algaebase.org> Acesso em: 22 dez 2023.
- HASLE, G. R. The inverted-microscope methods. In: SOURNIA, A. (Ed.). **Phytoplankton manual**. Paris: Unesco, 1978. p. 88-96.
- HERNÁNDEZ-LEÓN, S.; ALMEIDA, C.; YEBRA, L.; ARÍSTEGUI, J.; FERNÁNDEZ DE PUELLES, M. L.; GARCÍA-BRAUN, J. Zooplankton abundance in subtropical waters: Is there a lunar cycle? **Science Marine**, v. 65, p. 59–64. 2001.
- HEYWOOD, K. J.; BARTONL, E. D. SIMPSON, J. H. I. The effects of flow disturbance by an oceanic island. **Journal of Marine Research**. v. 48, p. 55-73, 1990.
- HILLEBRAND, H. & AZOVSKY, A.I. **Body size determines the strength of the latitudinal diversity gradient**. **Ecography**, 2001, 24, 251-256. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0587.2001.tb00197.x>. Acesso em: 23 dez 2023.
- HOPPENRATH, M.; ELBRÄCHTER, M.; DREBES, G. Marine phytoplankton – Selected microphytoplankton species from the North Sea around Helgoland and Sylt. **Kleine Senckeberg-Reihe**, 2009. 49 p.
- HUSTEDT, F. **Die Kieselalgen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz unter Berücksichtigung der übrigen Länder Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete**. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geesr & Portig K-G. (L. Rabenhorst, Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz, v.7, pt.3, n.1-4), 1961-1966.
- ISLABÃO CA, Odebrecht C. Microplankton dinoflagellates (Peridinales, Prorocentrales) at the continental shelf and slope in Southern Brasil (winter 2005, summer 2007). **Biota Neotropica**. 3: 153-166. 2011.
- JALES, Marina Cavalcanti et al. O ecossistema recifal de Serrambi (nordeste do Brasil): biomassa fitoplanctônica e parâmetros hidrológicos. **Atlântica (Rio Grande)**, v. 34, n. 2, p. 87-102, 2012.
- JALES, Marina Cavalcanti. **Influência das condições oceanográficas sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica no Atol das Rocas, Atlântico Sul Equatorial, Brasil**. 2015. 98 P. Tese (Doutorado em Oceanografia) - CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.
- KOENING, Maria Luise; MACÊDO, Silvio José de. Hydrology and phytoplankton community structure at Itamaracá-Pernambuco (Northeast Brazil). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 42, 1999.
- KOENING, M.L & LIRA, C.G. O gênero *Ceratium* Schrank (Dinophyta) na plataforma continental e águas oceânicas do estado de Pernambuco, **Brasil. Acta Bot. Bras.** 19(2):391-

397. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032011000200021>. Acesso em: 22 dez 2023.

KOENING, L. M; OLIVEIRA, M. S. Estrutura da comunidade fitoplanctônica. In: **O arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de Estação científica/** Orgs. Danielle de Lima Viana [et al.] Brasília, DF: SECIRM, p. 116-127. 2009.

KOETTKER, Andrea Green. **Composição, densidade e variação espaço-temporal de larvas de decápodes e estomatópodes do arquipélago de São Pedro e São Paulo, Brasil.** 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Brasil, 2008.

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Cyanoprokaryota 2. teil: Oscillatoriales. Süßwasserflora von Mitteleuropa. **Elsevier Spektrum Ak. Verlag. Alemanha**, v. 19, 752 p. 2005.

KRUK, C.; HUSZAR, V.L.M.; PEETERS, E.T.H.M.; BONILLA, S.; COSTA, L.; LÜRLING, M.; REYNOLDS, C. & SCHEFFER, M. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. **Freshwater Biology**, 2010, 55: 614-627. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02298.x>. Acesso em: 22 dez 2023.

LALLI, C. M.; PARSONS, T. R. Biological oceanography: an introduction. New York: **Elsevier**, 1997. 314 p.

LASTERNAS, S.; TUNIN-LEY, A.; IBÁÑEZ, F.; ANDERSEN, V.; PIZAY, M.-D.; LEMÉE, R. Dynamics of microphytoplankton abundance and diversity in NW Mediterranean Sea during late summer condition (DYNAPROC 2 cruise; September–October 2004). **Biogeosciences Discussion**. v. 5, p. 5163-5202. 2008.

LEITE, T. S.; HAIMOVICI, M.; LINS, J. E. **A pesca de polvos no Arquipélago de Fernando de Noronha, Brasil.** Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo. v. 34, n. 2, p. 271-280. 2008

LEVANDOWSKY, M. & KANETA, P. Behaviour in dinoflagellates. In The Biology of Dinoflagellates (F.J.R. Taylor). **Balckwell Scientific Publications**, London, p.360-397. 1987.

LICEA L, MORENO JL, SANTOYO H, FIGUEROA G. **Dinoflagelados del Golfo de California.** 1995. 195 p. Universidad Autonoma de Baja California Sur, México. 1995.

LIMA, J. C. **Dinâmica do fitoplâncton e microfitobentos da Baía do Sueste, Arquipélago Fernando de Noronha, Pernambuco, Brasil.** 2012. 64 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

LOBO, E.; LEIGHTON, G. Estructuras comunitárias de las fitocenosis planctônicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. **Revista Biología Marina**, Valparaiso, n. 22, p. 1-29, 1986.

LONGHURST, A.; SATHYENDRANATH, S.; PLATT, T.; CAVERHILL, C. An estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data. **Journal of Plankton Research**, 1995, v. 17, n. 6, p. 1245-1271. 1995.

LONGHURST, A. R.; PAULY E. D. **Ecology of Tropical Oceans.** San Diego: Academic Press. 1987. 407 p.

LONGHURST, A.R., PAULY, D. **Ecologia de oceanos tropicais**. São Paulo: Edusp, 2007. 419 p.

LOURENÇO, S. O.; MARQUES JÚNIOR., A. N. Produção primária marinha. In: PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A. (Org.). **Biologia Marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2002. p. 195-227.

LUBIANA, K. M. F. Fitoplâncton nas águas neríticas e oceânicas do trecho Vitória a Ilha de Trindade (Espírito Santo, Brasil): influência das variáveis ambientais na distribuição espacial e composição. In: **Anais do IX Congresso de Ecologia do Brasil**, São Lourenço – MG. 2009

MACEDO-SAIDAH, F. E.; MOREIRA-FILHO, H. **Composição e distribuição do microfitoplâncton nas águas do Atlântico Leste do Brasil (Região de Cabo de São Tomé – RJ a Maceió – AL)**. Publicação do Instituto de Pesquisa Marinha. v. 107, p. 1-12, 1977.

MACEDO, S. J. et al. **Phytoplankton nyctemeral variation at the Santa Cruz Channel, Itamaracá - Pernambuco - Brazil**. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, p. 858-871. 1998.

MACEDO, S. J.; FLORES MONTES, M. J.; COSTA, K. M. P. 2009. Hidrologia. In: **O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de Estação Científica**/ Orgs. Danielle de Lima Viana... [et al.]. -- Brasília, DF: SECIRM, 348 p. 2009.

MACEDO-SOARES, L. C. P. DE; CARVALHO, M.; FREIRE, A. S.; MUELBERT, J. H. **Variabilidade temporal e espacial da temperatura superficial do mar e da clorofila-a no entorno do Arquipélago São Pedro e São Paulo e seus efeitos na comunidade ictioplanctônica**. IN: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15. Curitiba, SBSR, 30 de abril - 05 de maio de 2011. Paraná: INPE, 2011, p.7129.

MACHADO, R.C.A. **Estrutura Da Comunidade Fitoplanctônica E Hidrologia Do Ecossistema Recifal de Porto de Galinhas (Pernambuco-Brasil)**. 2015. 122p. Tese (Doutorado em Oceanografia) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

MAFALDA JÚNIOR, P.O.; MOURA, G.F.; MELO, G. S.; SAMPAIO, J.A.A.; FEITOSA, F.A.N.; PASSAVANTE, J.Z.; MOREIRA, O. P.; SOUZA, C.S. Biomassa fitoplanctônica na ZEE da região Nordeste do Brasil. In: **Programa Revizee - Score Nordeste (F.H.V. Hazin)**. Fortaleza: Editora Martins & Cordeiro, p. 11-26. 2009.

MARGALEF, Ramon. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. **Oceanologica acta**, v. 1, n. 4, p. 493-509, 1978.

MARRA, J.; BIDIGARE, R.R.; DICKEY, T.D. Nutrients and mixing, chlorophyll and phytoplankton growth. **Deep-Sea Research**, 37: 127-143, 1990.

MATEUCCI, S. D.; COLMA, A. La metodología para el estudio de la vegetación. **Collection de Monografias Cientificas**, [S.l.], n. 2, 168 p., 1982. (Série Biologia).

MEDEIROS C, MACÊDO S, FEITOSA F, KOENING ML. Hydrography and phytoplankton biomass and abundance of north-east Brazilian waters. **Archive Fisheries Marine Research**, 1999. 47: 133-151

MELO, PEDRO AUGUSTO MENDES DE CASTRO. **Dinâmica em microescala do mesozoplâncton do Arquipélago de São Pedro e São Paulo NE, Brasil**. 2009. 64 p.

Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

MELO, PEDRO AUGUSTO MENDES DE CASTRO. **Efeito da turbulência sobre a migração vertical dos Copepoda no Arquipélago de São Pedro e São Paulo–Brasil**. 2013. 95 p. Tese (Doutorado em Oceanografia) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

MILLS, M. M., C. RIDAME, M. DAVEY, J. LA ROCHE, AND R. J. GEIDER, **Iron and phosphorus co-limit nitrogen fixation in the eastern tropical North Atlantic**, *Nature*, 429(6989), 292–294 (2004).

MONTAGNES, D.J.S.; BERGES, J.A.; HARRISON, P.J.; TAYLOR, F.J.R.L. **Estimating carbon, nitrogen, protein, and chlorophyll a from volume in marine phytoplankton**. *Limnology and Oceanography*, 39, n. 5, p. 1044-1060, 1994.

MÜLLER-MELCHERS, F. C. **Las diatomáceas del plâncton marino de las costas del Brasil**. *Boletim Instituto Oceanográfico*, São Paulo, p. 93-142. 1955.

NAGAI, SATOSHI et al. Predation by the toxic dinoflagellate *dinophysis fortii* on the ciliate *myrionecta rubra* and observation of sequestration of ciliate chloroplasts 1. **Journal of Phycology**, v. 44, n. 4, p. 909-922, 2008.

NASELLI-FLORES, L.; PADISÁK, J. & ALBAY, M. Shape and size in phytoplankton ecology: do they matter? *Hydrobiologia* **578**, 157–161, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10750-006-2815-z>. Acesso em: 24 dez 2023.

OLENINA, I.; HAJDU, S.; EDLER, L.; ANDERSSON, A.; WASMUND, N.; BUSCH, S.; GÖBEL, J.; GROMISZ, S.; HUSEBY, S.; HUTTUNEN, M.; JAANUS, A.; KOKKONEN, P.; LEDAINE, I.; NIEMKIEWICZ, E. **Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea**. *HELCOM Baltic. Sea Environment*. Proc. n. 106, 144 p. 2006.

OMORI, M.; IKEDA, T. **Methods in Marine Zooplankton Ecology**. New York: John Wiley e Sons. 331p. 1984.

PARSONS, T. R., STRICKLAND, J. D. H. Discussion of spectrophotometric determination of marine plankton pigments, with revised equations of ascertaining chlorophyll *a* and carotenoids. **Journal of Marine Research**, New Haven, v. 21, n. 3, p. 155-163, 1963.

PASSAVANTE, J. Z. O. Contribuição ao estudo dos dinoflagelados da Plataforma Continental de Pernambuco-Brasil. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 14, p. 31-54, 1979.

PASSAVANTE, J. Z. O.; FEITOSA, F. A. N. **Hidrologia e plâncton da plataforma continental de Pernambuco. 2. Biomassa primária do fitoplâncton**. In: Moraes, J. O. (ed.): III Encontro Brasileiro de Gerenciamento Costeiro. Univ. Federal do Ceará, Fortaleza, Anais. p. 363-371. 1989.

PEMBERTON, K., REES, A.P., MILLER, P.I., RAINE, R. & JOINT, I. 2004. The influence of water body characteristics on phytoplankton diversity and production in the Celtic Sea. **Cont. Shelf Res.** 24:2011-2028. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2004.07.003>. Acesso em: 21 dez 2023.

PHILIPS, E.J.; BADYLAK, S. & GROSSKOPF, T. Factors affecting the abundance of phytoplankton in a restricted subtropical lagoon, the Indian river lagoon, Florida, USA. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** 55, 385 – 402, 2002.

PIELOU, E.C. **Mathematical ecology**. New York: Wiley, 1977. 385 p.

PLATT, T. G. C. L.; GALLEGOS, C. L.; HARRISON, W. Glen. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. **Journal of Marine Research** 38, (4).1980.

PORCELLIS, DIEGO DE ABREU. **Modelando a variação da biomassa do fitoplâncton no estuário da lagoa dos patos através da simulação baseada em multiagentes**. 2016. 95p. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional) – IMEF, Universidade Federal do Rio Grande, 2016.

PORTO, M. A. C. Arquipélago de São Pedro e São Paulo. In: SERAFIM, C. F. S. (Org.). **O mar no espaço geográfico brasileiro**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, p. 74-80. 2006.

QUEIROZ, ANDRESSA RIBEIRO DE. **Distribuição vertical e horizontal da densidade e biomassa em carbono da comunidade fitoplancônica do arquipélago de São Pedro e São Paulo (Atlântico Equatorial)**. 2015. 105 p. Tese (Doutorado em Oceanografia) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

RAYMONT, JOHN EG. **Plankton and Productivity in the Oceans: Vol. 1: Phytoplankton**. New York: Pergamon press, 1980.

REYNOLDS, C.S. Phytoplankton associations and their periodicity in stratifying lake systems. **Holarctic Ecology**, 3, 141-159. 1980.

REYNOLDS, C.S. Functional morphology and the adaptive strategies of freshwater phytoplankton. Pp. 388-433. In: C.D. Sandgren (ed.). **Growth and Reproductive Strategies of Freshwater Phytoplankton**. Cambridge University Press, New York, NY. 1988. 442p.

REYNOLDS, C. S.; HUSZAR, V. L. M.; KRUK, C.; NASELLI-FLORES, L.; 118 MELO, S. **Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton**. **Journal of Plankton Research**, [S.I.], v. 24, n. 5, p. 417–428, 2002.

REYNOLDS, C.S. **Ecology of phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

RICKLEFS, R.E. **Economia da natureza**. 5nd ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 2003.

SANDER, E. **A preliminary assessment of the main causative mechanism of the —Island Massll effect of Barbados**. **Marine Biology**, v. 64, p. 199-205. 1991.

SATÔ, S.; PARANAGUÁ, M. N.; ESKINAZI-LEÇA, 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". **Trabalhos do Instituto 102 Oceanográfico da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife: v. 5-6, 1963/64. p. 7-50.

SHANNON, C. E. A mathematical theory of communication. **The Bell System Technical Journal**, Illinois, v. 27, p. 379-423, 1948.

SHERR, EVELYN B.; SHERR, BARRY F. Heterotrophic dinoflagellates: a significant component of microzooplankton biomass and major grazers of diatoms in the sea. **Marine Ecology Progress Series**, v. 352, p. 187-197, 2007.

SIEBURTH JMS. **Sea microbes**. Oxford University Press, New York. 1978. 337 p.

SIEGEL, H., M. GERTH, T. NEUMANN, AND R. DOERFFER, **Case studies on phytoplankton blooms in coastal and open waters of the Baltic Sea using Coastal Zone Colour Scanner data**, *Int. J. Remote Sensing*, 20, 1249-1264, 1999.

SILVA-CUNHA, M.G.G. & ESKINAZI-LEÇA, E. **Catálogo das diatomáceas (Bacillariophyceae) da plataforma continental de Pernambuco**. Recife: SUDENE-DPG/PRN/RPE – UFPE, 318 p. 1990.

SILVA-CUNHA, M. G. G.; ESKINAZI-LEÇA, E.; ALMEIDA, C. D. P. **Estrutura e distribuição do microfitoplâncton na região compreendida entre o Amapá e Paraíba (operação Norte-Nordeste II)**. In: Anais IV Encontro Brasileiro de Plâncton, Recife: Sociedade Brasileira de Plâncton, p. 9-33. 1991.

SIMON N.; CRAS, A. L.; FOULON E.; LEMÉE R. Diversity and evolution of marine phytoplankton. **Comptes Rendus Biologies** n. 332, p. 159-170. 2009.

SIMPSON, J. H.; TETT, P. B. Island stirring effects on phytoplankton growth. In: Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies, 17, Tidal mixing and plankton dynamics, J. Bowman, M. Yentsch and W. T. Peterson, eds., **Springer- Verlag, Berlin Heidelberg**, p. 41-76. 1986.

SIMPSON, J. H. et al. Mixing and phytoplankton growth around an island in a stratified sea. **Continental Shelf Research**, v. 1, n. 1, p. 15-31, 1982.

SIQUEIRA, A.; KOLM, H. E. BRANDINI, F. P. Offshore Distribution Patterns of the Cyanobacterium *Trichodesmium erythraeum* Ehrenberg and Associated Phyto- and Bacterioplankton in the Southern Atlantic Coast (Paraná, Brazil). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, n. 2, v. 49, p. 323-337, 2006.

SKIELKA, U.; SOARES, J.; OLIVEIRA, A. P. Investigação dos fluxos turbulentos na interface no arquipélago de São Pedro e São Paulo. Santa Catarina. In: **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Pp. 6. 2006.

SMAYDA, THEODORE J.; REYNOLDS, COLIN S. Strategies of marine dinoflagellate survival and some rules of assembly. **Journal of Sea Research**, v. 49, n. 2, p. 95-106, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1385-1101\(02\)00219-8](https://doi.org/10.1016/S1385-1101(02)00219-8). Acesso em: 22 dez 2023.

SMAYDA, T. J.; REYNOLDS, C. S. Strategies of marine dinoflagellate survival and some rules of assembly. **Journal of Sea Research**, [S.I.], v. 49, p. 95-106, 2003.

SNOW, T. **Composition and distribution of phytoplankton around the Galapagos Archipelago**. Thesis for Oceanography at the University of Washington. 2006.

SOARES, J. *et al.* O ar In: **O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos da Estação Científica** ed. Brasília, DF: SECIRM, p. 37-44, 2009.

SOURNIA, A. Le genre *Ceratium* (Peridinién Planctonique) dans le canal Mozambique: contribution a unde révision mondiale. **Biologie Marine**, [S.I.], n. 2/3, p. 375-499, 1967.

- SOURNIA, A. **Catalogue des espèces et taxons infraspécifiques de Dinoflagellés marins actuels**. Beih. Nova Hedwigia., v. 48, 1973. p.1-92.
- SOURNIA, A. Morphological base of competition and succession. **Canadian Bulletin Fisheries Aquatic Science**, v. 210, p. 339-346. 1981.
- SOUZA, C. S.; LUZ, J. A. G.; MACEDO, S.; MONTES, M. J. F.; MAFALDA JR., P. Chlorophyll a and nutrient distribution around seamounts and islands of the tropical southwestern Atlantic. **Marine and Freshwater Research**, v. 64, n. 2, p. 168–184, 2013.
- STEIDINGER KA, TANGEN K. Dinoflagellates. In: Tomas, C.R. **Identifying Marine Phytoplankton**. San Diego, Academic Press, 1997. p. 387-589.
- STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. A practical handbook of seawater analysis. 2 ed. **Bulletin Fisheries Research board of Canada**, Ottawa, n. 167, p. 1 – 211, 1972.
- SUSINI-RIBEIRO, S. M. M. Biomass distribution of pico, nano and micro- phytoplankton on the continental shelf of Abrolhos, East Brazil. **Archive of Fishery and Marine Research**, n. 2/3, v. 47, p. 271-284. 1999.
- TAYLOR, F. J. R.; FKUYO, Y.; LARSEN, J.; HALLEGRAEFF, G. M. **Taxonomy Of Harmful Dinoflagellates**. IN: Manual on Harmful Marine Microalgae. (Eds.): G.M. Hallegraeff et al., PARIS: UNESCO-IOC, p. 389-432. 2003.
- TENENBAUM, D. R.; VILLAC, M. C.; VIANA, S. C.; MATOS, M.; HATHERLY, M.; LIMA, I. V.; MENEZES, M. **Phytoplankton Atlas of Sepetiba Bay**, Rio de Janeiro. IMO, LONDON. (GLOBALLAST MONOGRAPH SERIES, 16). 2004.
- TENENBAUM D. R.; GOMES E. A. T.; GUIMARÃES, G. P. Microorganismos Planctônicos: Pico, Nano e Micro. In: VALENTIN, J. L. (Ed.) **Características hidrológicas da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira (Salvador, BA, ao Cabo de São Tomé, RJ)**. Brasília: Série Documentos REVIZEE/SCORE Central), p.83-124. 2007.
- THRONDSSEN, J. Preservation and storage. In: SOURNIA, A. (Ed.). **Phytoplankton manual**. Norwich: Unesco, 1978. p. 69-74. (Monographs on oceanographic methodology).
- TIBURCIO, A.S.X.S. et al. A comunidade microfítotoplanctônica do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (Atlântico Norte-Equatorial): variação diurna e espacial. **Biota Neotropica**, v. 11, p. 203-215, 2011.
- TOMAS, C. R. **Identifying marine phytoplankton**. San Diego: Academic Press, 858p. 1997.
- TRAVASSOS, P.; HAZIN, F. H. V.; ZAGAGLIA, J. R.; ADVINCULA, R.; SCHOBER, J. **Thermohaline structure around seamounts and islands off North-Eastern Brazil**. Archive of Fishery and Marine Research. v. 47, n. 2/3, p. 211-222. 1999.
- TREGUER, Paul *et al.* The silica balance in the world ocean: a reestimate. **Science**, v. 268, n. 5209, p. 375-379, 1995.
- TYRRELL T, MARANON E, POULTON AJ, BOWIE AR, HARBOUR DS, WOODWARD EMS. Largescale latitudinal distribution of *Trichodesmium* spp. in the **Atlantic Ocean**. **J Plankton Res** 25: 405–416. 2003

UNESCO. **Determination of photosynthetic pigments in sea waters**. Paris: s.n., 1966. 69 p. (Monographs on Oceanology Methodology).

UTERMÖHL, H. Zur vervollkommung der quantitativen phytoplankton-Methodik. **Mitteilungen Internationale Vereinigung fuer Theoretische und Angewandte Limnologie**, [S.l.], v. 9, p. 1-38. 1958.

VALENTIN J.L., PARANHOS R., FARO B.C.M.T., GONZALEZ A.S.M. **Características hidrobiológicas da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira (Salvador, BA, ao Cabo de São Tomé, RJ)**. Série Documentos REVIZEE/SCORE-Central. Brasília: Ideal Gráfica, 200. 2007.

VILLAREAL, T. A.; CARPENTER, E. J. **Buoyancy regulation and the potential for vertical migration in the oceanic cyanobacterium *Trichodesmium***. *Microbial ecology*, v. 45, p. 1-10, 2003.

WEBB, C.O.; ACKERLY, D.D.; MCPEEK, M.A. & DONOGHUE, M.J. 2002. **Phylogenies and community ecology**. *Annual Review of Ecology and Systematics* 33 (2002): 475–505. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/3069271>. Acesso em: 28 dez 2023.

WEITHOFF, GUNTRAM. **The concepts of 'plant functional types' and 'functional diversity' in lake phytoplankton: a new understanding of phytoplankton ecology**. 2003.

WOOD. E. J. F. **Dinoflagellates of the Caribbean Sea and adjacent areas**. Florida, University of Miami Press, 142p, 1968.

WoRMS Editorial Board (2023). **World Register of Marine Species**. Checklist dataset <https://doi.org/10.14284/170> accessed via GBIF.org on 2024-01-09.

YONEDA, Nelson T. Área temática: plâncton. **Centro de Estudos do Mar**, p. 53, 1999.

ZAGAGLIA, J. R. **Caracterização da estrutura termoalina da Zona Econômica Exclusiva do Nordeste Brasileiro**. Recife, 1998. 127f. Monografia (Graduação em Engenharia de Pesca) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1998.