



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS**

**ANTONIA DIANA ALVES BEZERRA**

**PHYTOPLANKTON OF THE CONTINENTAL SHELF ON THE EQUATORIAL  
SOUTHWESTERN ATLANTIC - CHEMOTAXONOMIC APPROACH**

**FORTALEZA**

**2021**

ANTONIA DIANA ALVES BEZERRA

PHYTOPLANKTON OF THE CONTINENTAL SHELF ON THE EQUATORIAL  
SOUTHWESTERN ATLANTIC - CHEMOTAXONOMIC APPROACH

Dissertação apresentada a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Marinhas Tropicais. Área de concentração: Ciência, Tecnologia e Gestão Costeira e Oceânica.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares

Coorientadores: Prof. Dr. Carlos Rafael Borges Mendes e Dra. Hortência de Sousa Barroso.

FORTALEZA

2021

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

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

---

- B469p Bezerra, Antonia Diana Alves.  
Phytoplankton of the continental shelf on the Equatorial Southwestern Atlantic : chemotaxonomic approach / Antonia Diana Alves Bezerra. – 2021.  
70 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2021.  
Orientação: Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares.  
Coorientação: Prof. Dr. Carlos Rafael Borges Mendes; Profa. Dra. Hortência de Sousa Barroso.
1. Condições oligotróficas. 2. Pigmentos. 3. Fitoplâncton marinho. 4. HPLC. 5. CHEMTAX. I. Título.

---

CDD 551.46

ANTONIA DIANA ALVES BEZERRA

PHYTOPLANKTON OF THE CONTINENTAL SHELF ON THE EQUATORIAL  
SOUTHWESTERN ATLANTIC - CHEMOTAXONOMIC APPROACH

Dissertação apresentada a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Marinhas Tropicais. Área de concentração: Ciência, Tecnologia e Gestão Costeira e Oceânica.

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

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

---

Prof. Dr. Luiz Carlos Cotovicz Junior  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dra. Andréa da Consolação de Oliveira Carvalho  
Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

Aos meus pais, Oliveira e Irismar.

## AGRADECIMENTOS

Ao corpo docente e aos Coordenadores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar – Labomar da UFC que de alguma forma colaboraram com o meu processo de formação profissional, e também com a realização desta pesquisa.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

À Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Ceará (SEMA-CE), gestora do Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio, pelo financiamento dos embarques no projeto GEF-MAR/FUNBIO que permitiu a realização das coletas.

Ao meu orientador, Professor Dr. Marcelo de Oliveira Soares, por ter acreditado na minha pesquisa, pelo tempo investido nas inúmeras correções e pela compreensão.

Ao meu coorientador, Professor Dr. Carlos Rafael Borges Mendes, da Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Minha gratidão pela dedicação, humildade e paciência ao me orientar acerca da abordagem de HPLC-CHEMTAX e por ter me acolhido tão bem no Laboratório de Fitoplâncton e Microorganismos Marinhos (LabFito) no Rio Grande do Sul.

À minha caríssima coorientadora, Dra. Hortência de Sousa Barroso, pelos valiosos ensinamentos, pela confiança e por não ter medido esforços para que esta pesquisa se concretizasse.

À Professora Dra. Eveline Pinheiro de Aquino, membra da banca de qualificação, que juntamente com o Professor Dr. Luiz Carlos Cotovicz Junior e a Dra. Andréa da Consolação de Oliveira Carvalho (estes últimos membros da banca de defesa) deram contribuições que enriqueceram esta pesquisa.

Ao Professor, Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira, pelos esclarecimentos acerca da oceanografia física da plataforma continental do Estado do Ceará. Aproveito para agradecer aos membros do Laboratório de Oceanografia Física, em especial a técnica em Oceanografia Física, Mestre Bárbara Pereira Paiva, que nos acompanhou nos embarques e que disponibilizou os dados do CTD.

Ao Laboratório de Biogeoquímica Costeira, nas pessoas da Professora Dra. Rozane Valente Marins e da Doutoranda Raisia Chielle por terem cedido dados de oxigênio para cálculo do índice TRIX.

Ao Professor Dr. Michael Barbosa Viana, coordenador do Laboratório de Efluentes e Qualidade de Água e suas alunas de iniciação científica, Isabelle de Oliveira Lima e Ravena Santiago Alves, pelo empenho na realização das coletas e as análises de nutrientes.

Aos colegas, Pedro, Raul, Fernanda e a técnica Dra. Savênia Bonoto, membros do Laboratório de Fitoplâncton e Microorganismos Marinhos (LabFito) da FURG, pelas contribuições nas análises de pigmentos, interpretações dos cromatogramas e acolhida.

Às pesquisadoras do Laboratório de Plâncton, Dra. Tatiane Martins Garcia e Dra. Tallita Cruz Lopes Tavares que deram suporte necessário para a realização desta pesquisa.

Ao Professor, Dr. Marcos Vinicius Chagas da Silva pelo auxílio na elaboração do mapa da área de estudo.

Aos colegas de Laboratório de Plâncton, Pedro Henrique Gomes, Nathaniel de Oliveira, Eliana Ribeiro que, juntamente, com Wesley Pires, Edinilson Martins e Edmilson Junior (estes estagiários do plano de manejo do Parque) contribuíram nas coletas e filtração.

Aos companheiros do Laboratório de Plâncton, Carolina Coelho, Gabriel Abreu, e Cecília Costa pelas conversas, risos, companheirismo e amizade que tornaram estes dois anos mais leves.

À oceanógrafa, Mariana Batista Teotônio de Melo pela amizade ímpar, pelo apoio, pela escuta e pela disposição em ajudar.

À querida conterrânea, Mestre Andréa de Oliveira da Rocha Franco, pelo companheirismo durante os dois meses no Rio Grande - Rio Grande do Sul. Digo sempre que a sua companhia foi providência divina.

À minha irmã, Maria Juliana Alves Bezerra, por nunca me deixar desistir dos meus sonhos.

Ao amado Deus pode ter me dado forças para realizar mais um sonho.

## RESUMO

A biomassa e a composição da comunidade fitoplanctônica foram investigadas na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, NE Brasil), uma região influenciada pelo clima semiárido e dominada por recifes de coral, além disso é caracterizada pelo intenso processo hidrodinâmico, baixo aporte de nutrientes, temperaturas altas e constantes e ausência de ressurgência. As amostras para pigmentos marcadores e nutrientes inorgânicos dissolvidos (fosfato, silicato e nitrogênio inorgânico dissolvido-NID) foram coletadas no período seco de 2019 na subsuperfície (0,15 m) e em uma segunda profundidade (8-14 m) equivalente à metade da profundidade total de cada uma das dez estações. Também foram obtidos dados de oxigênio dissolvido, transparência da água, profundidade e perfis verticais de temperatura e salinidade. A identificação e quantificação dos pigmentos deram-se por meio da análise de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) e os dados foram processados pelo CHEMTAX, um programa de taxonomia química que visa quantificar a contribuição de cada grupo para as concentrações de clorofila *a* total. A assembleia mostrou-se diversa e incluiu os seguintes grupos: diatomáceas tipo-1, diatomáceas tipo-2, *Synechococcus*, *Prochlorococcus*, haptófitas, flagelados verdes, dinoflagelados e criptófitas. A área apresentou baixa biomassa (média  $0,36 \pm 0,15 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), porém valores maiores foram observados próximos a alguns recifes. As diatomáceas (38,2%; 14,5 a 66,6%), picocianobactérias (28,5%; 15 a 54,4%) e haptófitas (24,5%; 11,2 a 41,9%) foram os principais componentes da biomassa e também se destacaram pela alta variação nos valores de contribuição relativa entre as amostras. As picocianobactérias e as haptófitas, que pertencem as frações pico e nano, respectivamente, contribuíram com mais da metade da biomassa total (53%). A temperatura (média  $27,8 \pm 0,05^\circ\text{C}$ ) e a salinidade (média  $36,3 \pm 0,14$ ) apresentaram pequenas variações vertical e espacial, indicando homogeneidade da coluna d'água no que se refere a estes parâmetros. As concentrações de fosfato ( $0,32 \pm 0,2 \mu\text{M}$ ), NID ( $0,41 \pm 0,3$ ) e silicato ( $2,94 \pm 5,6 \mu\text{M}$ ) foram baixas, porém nas estações E1 (mais próximo da costa) e E10 (mais distante) foram obtidas concentrações relativamente maiores para os três nutrientes. O valor do índice TRIX médio (2,5), bem como de todas as estações asseguram que se trata de um ambiente oligotrófico. O grupo das diatomáceas tipo-2 teve correlação negativa com as concentrações de NID e silicato, enquanto as haptófitas se correlacionaram negativamente com o fosfato, evidenciando o consumo destes nutrientes por tais grupos. No grupo de diatomáceas tipo-2, está inserido o gênero *Pseudo-nitzschia*, cuja presença na região foi confirmada por microscopia óptica. Esse gênero apresenta importância ecológica, pois



possui espécies consideradas potencialmente tóxicas, que sintetizam ácido domóico, uma toxina amnésica. Neste contexto, os dados desta dissertação fornecem informações inéditas sobre a composição da comunidade fitoplanctônica em um ambiente marinho oligotrófico dominado por recifes de coral e que está situado em uma região semiárida e altamente energética, no qual se destacaram altas variações nas contribuições relativas dos grupos principais (diatomáceas, picocianobactérias e haptófitas), presença conspícua do gênero *Pseudo-nitzschia* e a grande contribuição para biomassa de grupos de classes de tamanho menores: pico (principalmente, *Synechococcus*) e nanoplâncton (haptófitas).

**Palavras-chave:** Condições oligotróficas. Pigmentos. Fitoplâncton marinho. HPLC. CHEMTAX.

## ABSTRACT

The biomass and composition of the phytoplankton community were investigated in the continental shelf of the Equatorial Southwestern Atlantic (Ceará, NE Brazil), a region influenced by the semiarid climate and dominated by coral reefs. In addition, it is characterized by an intense hydrodynamic process, low nutrient input, constant high temperatures and no upwelling. Samples for marker pigments and dissolved inorganic nutrients (phosphate, silicate and dissolved inorganic nitrogen-NID) were collected in the dry period of 2019 at the subsurface (0.15 m) and at a second depth (8-14 m) equivalent to half of the total depth of each of the ten stations. Dissolved oxygen, water transparency, depth and vertical profiles of temperature and salinity were also obtained. The identification and quantification of pigments took place through High Performance Liquid Chromatography (HPLC) analysis and the data were processed by CHEMTAX, a chemical taxonomy program that aims to quantify the contribution of each group to total chlorophyll *a* concentrations. The assemblage was diverse and included the following groups: type-1 diatoms, type-2 diatoms, *Synechococcus*, *Prochlorococcus*, haptophytes, green flagellates, dinoflagellates and cryptophytes. The area had low biomass (mean  $0.36 \pm 0.15$  mg.m<sup>-3</sup>), but higher values were observed close to some reefs. Diatoms (38.2%; 14.5 to 66.6%), picocyanobacteria (28.5%; 15 to 54.4%) and haptophytes (24.5%; 11.2 to 41.9%) were the main components of biomass and also stood out for the high variation in relative contribution values between samples. The picocyanobacteria and the haptophytes belonging to the pico and nano fractions, respectively, contributed with more than half of the total biomass (53%). The temperature (mean  $27.8 \pm 0.05$ °C) and salinity (mean  $36.3 \pm 0.14$ ) presented small vertical and spatial variations, indicating homogeneity of the water column with regard to these parameters. Phosphate ( $0.32 \pm 0.2$  μM), NID ( $0.41 \pm 0.3$ ) and silicate ( $2.94 \pm 5.6$  μM) concentrations were low, but at stations E1 (closer to the coast) and E10 (most distant) relatively higher concentrations for the three nutrients were obtained. Both the average TRIX index value (2.5) and TRIX values for each station ensure that this is an oligotrophic environment. The type-2 diatom group had a negative correlation with the concentrations of NID and silicate, while the haptophytes were negatively correlated with phosphate, showing the consumption of these nutrients by these groups. In the group of type-2 diatoms, the genus *Pseudo-nitzschia* is inserted, whose presence in the region was confirmed by optical microscopy. This genus has ecological importance as it has species considered potentially toxic, which synthesize domoic acid, an amnesic toxin. In this context, the data in

this dissertation provide unprecedented information on the composition of the phytoplankton community in an oligotrophic marine environment dominated by coral reefs located in a semi-arid and highly energetic region, in which high variations in the relative contributions of the main groups were highlighted (diatoms, picocyanobacteria and haptophytes). Other important features are the conspicuous presence of the genus *Pseudo-nitzschia* and the large biomass contribution of smaller size class groups: pico (mainly *Synechococcus*) and nanoplankton (haptophytes).

**Keywords:** Oligotrophic conditions. Pigments. Marine phytoplankton. HPLC. CHEMTAX.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Localização da área de estudo e das estações amostradas na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil). Destaca-se na poligonal retangular o PEMPRIM (Parque Estadual Marinho Pedra da Risca do Meio).....21
- Figura 2 – Distribuições espaciais das concentrações de clorofila *a* total nas amostras de subsuperfície (a) e 2ª profundidade (b) na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil) .....32
- Figura 3 – Médias das contribuições relativas de cada grupo fitoplanctônico para a clorofila *a* total da plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil) .....33
- Figura 4 – Análise de similaridade com índice de Bray-Curtis aplicados a biomassa de cada grupo fitoplanctônico da plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil). Cores rosas e azuis claras mostram a formação dos agrupamentos (GI, GII-a, GII-b) por similaridade.....35
- Figura 5 – Distribuições espaciais médias das contribuições absolutas de diatomáceas tipo-1 (a), *Synechococcus* (b), *Prochlorococcus* (c), diatomáceas tipo-2 (d), haptófitas (e) para a clorofila *a* total na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil).....36
- Figura 6 – Comparação entre a abundância celular dos gêneros *Pseudo-nitzschia* e *Rhizosolenia* (%), na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil). O símbolo “\*” significa não detectada. As letras “s” e “p” foram usadas após o número da estação para se referirem, respectivamente, as amostras de subsuperfície e 2ª profundidade..... 37
- Figura 7 – Gráfico de dispersão entre os valores de biomassa de diatomáceas tipo-2 e abundância de células de *Pseudo-nitzschia* e *Rhizosolenia*, obtidos respectivamente, por HPLC-CHEMTAX e contagem por microscopia. O coeficiente de determinação ( $r^2$ ) é mostrado no gráfico.....38
- Figura 8 – Perfis verticais de temperatura e salinidade das estações E1 a E10 da plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil).....41

Figura 9 —	Distribuições espaciais das concentrações de fosfato (a), NID (b) e silicato (c) na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil).....	42
------------	--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 —	Coordenadas geográficas, distância da costa (Km) de cada estação e horário de coleta na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil). Ver localização das estações na Figura 1.....	22
Tabela 2 —	Pigmentos detectados na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil) e suas abreviações.....	26
Tabela 3 —	Razões de entrada (a) e de saída (b) de pigmentos usadas na análise CHEMTAX.....	27
Tabela 4 —	Grupos quimiotaxonômicas e os respectivos pigmentos utilizados nos procedimentos de CHEMTAX.....	28
Tabela 5 —	Classificação do estado trófico usando o índice trófico (TRIX).....	30
Tabela 6 —	Variáveis ambientais (profundidade de coleta, profundidade máxima e zona eufótica) da plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil). As letras “s” ou “p” foram usadas após o número da estação para se referirem, respectivamente, as amostras de subsuperfície e 2ª profundidade.....	39
Tabela 7 —	Índice TRIX de algumas amostras da plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil).....	43
Tabela 8 —	Matriz de correlação de Spearman realizada com as variáveis: transparência da água (transp.), fosfato inorgânico dissolvido ([P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ]), silicato ([SI]), nitrogênio inorgânico dissolvido ([NID]), TChl <i>a</i> (clorofila <i>a</i> total) e contribuições absolutas de biomassa dos flagelados verdes (flag.verdes), dinoflagelados (dino), criptófitas (crip.), haptófitas (hap.), diatomáceas tipo -1 (diato 1), diatomáceas tipo-2 (diato 2), <i>Synechococcus</i> (Syne) e <i>Prochlorococcus</i> (Prochlo). Em negrito os coeficientes de Spearman (rs) das correlações estatisticamente significativas (valor de p<0,05).....	44

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1</b>	<b>Área de estudo.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2</b>	<b>Amostragem.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3</b>	<b>Análises de nutrientes.....</b>	<b>22</b>
<b>3.4</b>	<b>Contagem microscópica.....</b>	<b>23</b>
<b>3.5</b>	<b>Análise dos pigmentos por HPLC.....</b>	<b>24</b>
<b>3.6</b>	<b>Análise da abundância de classes por CHEMTAX.....</b>	<b>26</b>
<b>3.7</b>	<b>Cálculo do índice TRIX (Índice Trófico).....</b>	<b>29</b>
<b>3.8</b>	<b>Análises Estatísticas.....</b>	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>32</b>
<b>4.1</b>	<b>Biomassa (clorofila <i>a</i> total) e composição da comunidade fitoplanctônica.....</b>	<b>32</b>
<b>4.2</b>	<b>Abundância de celular dos gêneros <i>Pseudo-nitzschia</i> e <i>Rhizosolenia</i> versus HPLC-CHEMTAX.....</b>	<b>36</b>
<b>4.3</b>	<b>Variáveis ambientais.....</b>	<b>39</b>
<b>4.4</b>	<b>TRIX (Índice Trófico).....</b>	<b>43</b>
<b>4.5</b>	<b>Associação da comunidade fitoplanctônica as variáveis ambientais.....</b>	<b>43</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>45</b>
<b>5.1</b>	<b>Produção primária na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste.....</b>	<b>45</b>
<b>5.2</b>	<b>Estrutura da comunidade fitoplanctônica.....</b>	<b>46</b>
<b>5.3</b>	<b>A influência das variáveis ambientais na composição.....</b>	<b>50</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>53</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>55</b>
	<b>APÊNDICE A – CONCENTRAÇÕES DE PIGMENTOS DETECTADAS NAS AMOSTRAS DE SUBSUPERFÍCIE NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ATLÂNTICO EQUATORIAL SUDOESTE (CEARÁ, NORDESTE DO BRASIL).....</b>	<b>67</b>

APÊNDICE B – CONCENTRAÇÕES DE PIGMENTOS DETECTADAS NAS AMOSTRAS DA 2ª PROFUNDIDADE NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ATLÂNTICO EQUATORIAL SUDOESTE (CEARÁ, NORDESTE DO BRASIL).....	68
APÊNDICE C – CONTRIBUIÇÕES ABSOLUTAS DAS DIATOMÁCEAS TIPO - 1 (a E b), DIATOMÁCEAS TIPO - 2 (c E d), <i>SYNECHOCOCCUS</i> (e E f) E <i>PROCHLOROCOCCUS</i> (g E h) PARA A CLOROFILA <i>a</i> TOTAL DAS AMOSTRAS DE SUBSUPERFÍCIE E DE 2ª PROFUNDIDADE NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ATLÂNTICO EQUATORIAL SUDOESTE (CEARÁ, NORDESTE DO BRASIL).....	69
APÊNDICE D – CONTRIBUIÇÕES ABSOLUTAS DE HAPTÓFITAS (a E b), DINOFLAGELADOS (c E d), FLAGELADOS VERDES (e E f) E CRIPTÓFITAS (g E h) PARA A CLOROFILA <i>a</i> TOTAL DAS AMOSTRAS DE SUBSUPERFÍCIE E DA 2ª PROFUNDIDADE NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ATLÂNTICO EQUATORIAL SUDOESTE (CEARÁ, NORDESTE DO BRASIL).....	70



## 1 INTRODUÇÃO

Amplamente distribuído e abundante nos oceanos, o fitoplâncton é o produtor primário dominante (KÄSE; GEUER, 2017), com contribuição anual de aproximadamente a metade (46,2%) da produção primária global (FIELD *et al.*, 1998). O fitoplâncton também é componente importante na manutenção de vários ciclos biogeoquímicos (FALKOWSK *et al.*, 1998), por exemplo, os cocolitoforídeos (classe de haptófitas) e as diatomáceas que são importantes atores nos ciclos de carbono assim como os demais grupos, são também atores, respectivamente, dos ciclos de carbonato (EIKREM *et al.*, 2017) e sílica (NELSON *et al.*, 1995). Portanto, é um elemento fundamental de sustentação da vida e da provisão de serviços ambientais para a humanidade.

Uma das formas tradicionais de identificar e quantificar esses organismos se dá por meio de microscopia óptica, porém esta técnica demanda considerável tempo de análise, recursos humanos e elevada *expertise* na identificação (MACKEY *et al.*, 1996; LEWITUS *et al.*, 2005; EDLER; ELBRÄCHTER, 2010; MENDES *et al.*, 2015). Além disso, possui limitações para quantificar todos os grupos. Por exemplo, na microscopia óptica, as classes de menor tamanho como o pico (<2 µm) e o nanoplâncton (2-20 µm) são subestimadas devido às dificuldades de identificá-las e/ou preservá-las (WRIGHT; JEFFREY, 2006; HIGGINS *et al.*, 2011). Além da microscopia óptica, a citometria de fluxo e a biologia molecular (sequenciamento de DNA) são técnicas mais recentes, modernas e que também vêm sendo utilizadas para a obtenção de dados sobre a comunidade fitoplanctônica. A citometria de fluxo permite a rápida quantificação das células, porém é na maioria das vezes utilizada apenas para as frações do pico e nanofitoplâncton, as quais são identificadas em grandes grupos taxonômicos a partir de seus pigmentos e seus tamanhos característicos (WRIGHT; JEFFREY, 2006). Já a análise a partir do sequenciamento de DNA é uma ferramenta poderosa para identificação e quantificação da contribuição relativa de cada táxon dentro da comunidade, independente da classe de tamanho (pico, nano e microfitoplâncton). Entretanto, trata-se ainda de uma análise com custos financeiros relativamente altos, quando comparada com os métodos de microscopia óptica e citometria (WRIGHT; JEFFREY, 2006), principalmente em países em desenvolvimento e em regiões tropicais onde ainda há escassez de recursos.

Um método eficiente e recente para a obtenção de dados acerca da abundância e composição da comunidade fitoplanctônica é a análise de pigmentos por Cromatografia Líquida de Alta Performance (High Performance Liquid Chromatography – HPLC), a qual permite obter

concentrações de pigmentos biomarcadores dos diversos grupos taxonômicos (MENDES *et al.*, 2015). Este método é extremamente vantajoso, pois fornece informações sobre as três classes de tamanho que compõem a comunidade (SCHLÜTER *et al.*, 2011), além disso, permite a análise automatizada e rápida de um grande número de amostras (WRIGHT; JEFFREY, 2006).

A partir dos dados de concentrações de pigmentos biomarcadores obtidos por HPLC, é possível quantificar a contribuição relativa de cada grupo taxonômico para o teor de clorofila *a* total por meio da relação pigmento/clorofila *a* total (LATASA, 2007). Para tal finalidade existem alguns programas computacionais, sendo o CHEMTAX o mais utilizado (WRIGHT; JEFFREY, 2006). Este programa emprega análises modernas e algoritmos que permitem otimizar as contribuições de cada grupo de fitoplâncton para a biomassa total (clorofila *a* total), usando como base uma matriz inicial de pigmentos, que consiste na relação de proporção entre concentrações dos pigmentos biomarcadores e de clorofila *a* total (MACKEY *et al.*, 1996).

Vários estudos foram realizados combinando os dados obtidos por HPLC-CHEMTAX e o método clássico de microscopia óptica, e encontraram boas correlações significativas entre os resultados destas duas técnicas (por exemplo, CARRETO *et al.*, 2003; HAVSKUM *et al.*, 2004; SCHLÜTER *et al.*, 2011; KOZLOWSKI *et al.*, 2011; SOUZA *et al.*, 2012; BRITO *et al.*, 2015; MENDES *et al.*, 2017; LEE *et al.*, 2020). Neste sentido, apesar das limitações da microscopia óptica já relatadas, esta técnica fornece informações complementares aos dados de HPLC, uma vez que permite a identificação do fitoplâncton a nível de espécie e gênero (BRITO *et al.*, 2015), sendo tais informações relevantes, principalmente, para a identificação de indivíduos potencialmente tóxicos ou nocivos (MENDES *et al.*, 2011).

No que se refere a porção do Oceano Atlântico Sul pertencente ao Brasil, estudos com a abordagem HPLC-CHEMTAX já foram realizados no Sudoeste Subtropical (GONÇALVES-ARAÚJO *et al.*, 2012; ISLABÃO *et al.*, 2017; MENDES *et al.*, 2017; ARAÚJO *et al.*, 2017; CARVALHO *et al.*, 2019; LIMA *et al.*, 2019) e Sudoeste Tropical (KNOPPERS *et al.*, 1999; RODRIGUES *et al.*, 2014; LIMA *et al.*, 2019), mas não se tem conhecimento de estudos na sua plataforma equatorial.

A plataforma do Atlântico Equatorial Sudoeste adjacente ao Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) ainda é uma região costeira negligenciada quanto a pesquisas sobre a biomassa e a composição da comunidade fitoplanctônica. Dentre os poucos estudos na porção do Atlântico Sudoeste Equatorial pertencente ao Estado do Ceará já foram realizados estudos em estuários (FONSECA; KLEIN, 1976; KLEIN; MOREIRA, 1977; KLEIN; FRANCA, 1980;

MOREIRA, 1994; BARROSO *et al.*, 2016), zona de surf (FRANCO *et al.*, 2018) e apenas Klein (1977) e Passavante *et al.*, (1982) analisaram a plataforma. Klein (1977) conseguiu observar a presença de diatomáceas e dinoflagelados e Passavante *et al.* (1982) se concentraram na identificação apenas de espécies do grupo dinoflagelados. Tais estudos foram realizados com o emprego da técnica de microscopia óptica. Recentemente, com o emprego da citometria de fluxo, as cianobactérias dos gêneros *Synechococcus* e *Prochlorococcus* puderam ser estudadas (SAES, 2018). Pelo exposto, destaca-se que nenhuma das técnicas foram capazes de abranger todas as frações (pico, nano e microfitorplâncton) da comunidade fitoplanctônica da plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste.

A plataforma continental estudada apresenta características ambientais únicas, tais como a influência do clima semiárido (XIMENES NETO *et al.*, 2018; MORAIS *et al.*, 2019), águas oligotróficas, rios de pequeno porte, bem como temperaturas altas e constantes todo o ano (> 26° C com variação intra-anual ~ 5°C) (TEIXEIRA; MACHADO, 2013; SOARES *et al.*, 2019). Além disso, a plataforma apresenta profundidade rasa e inclinação suave e é considerada altamente energética devido ao regime de meso-maré (2 a 4 metros), presença de ventos alísios intensos (principalmente no segundo semestre), ondas de *swell* periódicas e o dinamismo de correntes costeiras sobre a plataforma (DIAS *et al.*, 2013). Esta plataforma detém ainda uma importante biodiversidade com a ocorrência de recifes tropicais rasos (<30 m de profundidade) e mesofóticos (30-120 m) com elevada cobertura de macroalgas, corais e esponjas (SOARES *et al.*, 2016, 2017), sendo assim considerada dominada por recifes (COTOVICZ JUNIOR) Porém, a ausência de estudos aprofundados sobre o fitoplâncton marinho, sua biomassa e a relação com fatores ambientais-chave (transparência da água, temperatura, salinidade e nutrientes) impedem o entendimento sobre o funcionamento deste ambiente marinho único.

As haptófitas, diatomáceas, dinoflagelados, clorófitas, prasinófitas e as cianobactérias são os principais grupos taxonômicos do fitoplâncton (LITCHMAN, 2007) e a identificação e quantificação destes grupos auxiliam no entendimento do funcionamento ecológico e biogeoquímico do ambiente marinho (ZHANG *et al.*, 2018). Neste contexto, essa dissertação busca aprofundar o conhecimento sobre o fitoplâncton marinho na margem equatorial brasileira semiárida dominada por recifes de arenito, utilizando a abordagem HPLC-CHEMTAX. Esta análise é inédita para a região e permitirá também identificar e quantificar grupos inacessíveis por estudos clássicos de microscopia.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Caracterizar a composição e a biomassa da comunidade fitoplanctônica na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil) e verificar a influência de fatores ambientais na distribuição espacial.

### 2.2 Objetivos específicos

- Quantificar a biomassa total do fitoplâncton;
- Determinar a biomassa dos principais grupos de fitoplâncton;
- Quantificar a abundância, por microscopia óptica, das diatomáceas *Pseudo-nitzschia* spp. e *Rhizosolenia* spp. e verificar se há correlação com os dados quimiotaxonômicos;
- Verificar se há influência entre fatores ambientais e sobre a composição da comunidade;
- Estimar o estado trófico médio e de algumas estações por meio do índice trófico (TRIX).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil) em uma unidade de conservação denominada Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio (PEMPRIM) e em seu entorno (Figura 1). Esta unidade de conservação é diversa com presença abundante de corais, peixes, algas e esponjas (CARNEIRO *et al.*, 2017). O PEMPRIM abrange uma área retangular de 33,20 km<sup>2</sup> localizada a aproximadamente 18 km da cidade de Fortaleza com profundidade dos recifes variando entre 16 a 30 metros (SOARES *et al.*, 2011, 2017).

A plataforma em questão é caracterizada por um sistema misto de sedimentos composto por carbonatos (origem, principalmente, autóctone) e siliciclásticos (origem continental alóctone) (XIMENES NETO *et al.*, 2018; MORAES *et al.*, 2019). O suprimento carbonático é de origem principalmente moderna e predominante na plataforma, em contraste, com o suprimento de siliciclásticos que são, predominantemente, relíquias, com pequeno fornecimento moderno restrito porção mais interna da costa devido ao clima semiárido que resulta em baixas vazões dos rios para a plataforma (XIMENES NETO *et al.*, 2018; MORAES *et al.*, 2019).

As características oceanográficas e as condições climáticas da costa semiárida são bem distintas das demais ecorregiões do Atlântico Sudoeste Tropical (SOARES *et al.*, 2017). A região semiárida do Brasil é caracterizada pela distribuição irregular tanto espacial como temporal das chuvas (PINHEIRO *et al.*, 2020). As precipitações anuais são superiores a 1.000 mm na maior parte da região litorânea e inferiores a 500 mm nas regiões interioranas (MOURA *et al.*, 2007). Quanto à sazonalidade da precipitação, esta compreende um período chuvoso que vai de janeiro a junho, com máximo de precipitação de março a abril e outro seco que vai de julho a dezembro, sendo setembro o mês mais seco (DIAS *et al.*, 2013). Além da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que é tida como o mecanismo mais importante para as chuvas na região (FERREIRA; MELO, 2005), os fenômenos El Niño e La Niña também atuam, sendo o primeiro associado a períodos de secas moderadas a severas, enquanto o último a períodos normais, chuvosos ou muito chuvosos (MOLION; BERNARDO, 2002; FERREIRA; MELO, 2005).

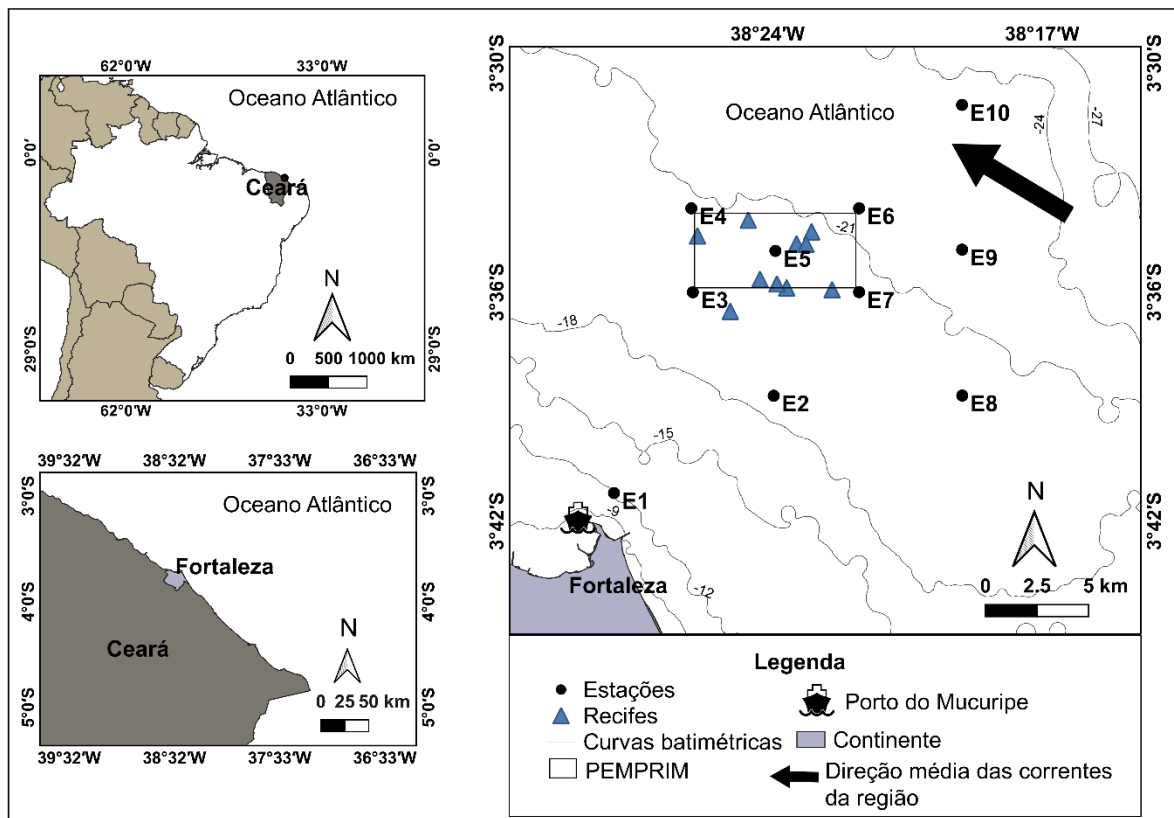
Apesar da homogeneidade espacial e temporal na temperatura da superfície do mar -TSM (TEIXEIRA; MACHADO, 2013) a área pode ter uma heterogeneidade espacial devido modificações na batimetria, direção do fluxo costeiro, pequeno aporte continental de nutrientes

e presença de ambientes recifais, tais características tornam a plataforma continental da costa semiárida intensamente complexa (DIAS *et al.*, 2013, SOARES *et al.*, 2017), heterogênea e pouco estudada.

### 3.2 Amostragem

A malha amostral foi composta por dez estações (Figura 1 e Tabela 1), sendo uma estação (E1) próxima à costa; cinco estações (E3, E4, E5, E6 e E7) em uma região de recifes tropicais no PEMPRIM; e quatro na área de entorno do parque (E2, E8, E9 e E10), a qual apresenta menor quantidade de ambientes recifais e substrato predominantemente arenoso (carbonático-siliciclástico) (Figura 1).

Figura 1 — Localização da área de estudo e das estações amostradas na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil). Destaca-se na poligonal retangular (lado direito) o PEMPRIM (Parque Estadual Marinho Pedra da Risca do Meio).



Fonte: Elaborada pela autora. As curvas batimétricas são resultantes da interpolação de folhas de bordos da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil.

Tabela 1 — Coordenadas geográficas, distância da costa (Km) de cada estação e horário de coleta na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil). Ver localização das estações na Figura 1.

<b>Estação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Distância da costa (Km)</b>	<b>Horário de coleta</b>
<b>1º dia de coleta (09/07/2019)</b>				
E10	-3,518236717	-38,31503393	26,9	10:01
E9	-3,581454604	-38,31498735	22,09	11:35
E8	-3,64517938	-38,31494066	18,69	13:37
E2	-3,645267574	-38,39731956	10,5	14:33
E1	-3,687773	-38,467119	1,74	16:22
<b>Estação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Distância da costa (Km)</b>	<b>Horário de coleta</b>
<b>2º dia de coleta (10/07/2019)</b>				
E6	-3,563403977	-38,3600176	19,8	08:45
E7	-3,600009825	-38,36001764	16,91	10:45
E5	-3,582007959	-38,39659542	15,8	12:40
E4	-3,563404311	-38,43332777	15,98	14:16
E3	-3,600063486	-38,43266629	12,16	15:44

Fonte: Elaborada pela autora. Notas: Observe que as estações são listadas de acordo com o horário de coleta. Para obter os dados de distância da costa, foi fixado um ponto na margem da costa mais próximo da estação E1, as distâncias das estações foram medidas em relação a esse ponto fixado.

A amostragem foi realizada nos dias 9 e 10 de julho de 2019 a bordo do barco Argo Equatorial da Universidade Federal do Ceará - UFC, em conjunto com as coletas do programa do plano de manejo do PEMPRIM, financiadas pelo Projeto Áreas Marinhas e Costeiras Protegidas (GEFMar) e sob coordenação da Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Ceará (SEMA-CE) em parceria com o Instituto de Ciências do Mar (Labomar) da UFC.

Em cada estação foram realizados perfis verticais de temperatura e salinidade com um CTD (*Conductivity, Temperature, Depth*) do modelo CastAway. Para dados de oxigênio dissolvido utilizou-se uma sonda multiparamétrica modelo YSI Professional Plus. Quanto a determinação da transparência da água, esta foi estimada com um disco de Secchi e a zona eufótica (Zeu) foi estimada em 2,7 vezes a profundidade de Secchi (COLE, 1983). As amostras de água para análises de pigmentos e nutrientes foram coletadas com garrafa do tipo Van-Dorn na subsuperfície (0,15 cm abaixo da superfície) e na profundidade equivalente à metade da profundidade total de cada uma das dez estações amostradas. Esta profundidade aqui denominamos de 2ª profundidade, e sempre que necessário as amostras de subsuperfície são representadas pelo número da estação seguida da letra 's', já para as de 2ª profundidade adotamos o número da estação seguido de 'p'.

### 3.3 Análises de nutrientes

As amostras para análises dos nutrientes inorgânicos dissolvidos, coletadas em subsuperfície e na 2ª profundidade, foram imediatamente filtradas após a coleta. Após esta etapa, as amostras foram mantidas a 4 °C até a chegada, no mesmo dia, ao laboratório de Efluentes e Qualidade de Água (EQUAL) da UFC. As amostras foram, posteriormente, armazenadas a -20 °C até a análise. Alíquotas (1L) das amostras de água foram filtradas através de filtros de fibra de vidro de tamanho de poro de 0,7 µm (diâmetro de 47 mm, tipo GF- 3, Macherey-Nagel, Düren, Alemanha) para nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) mais nitrito (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) (N-NO<sub>x</sub>), nitrogênio amoniacal (NH<sub>3</sub>-N + NH<sub>4</sub><sup>+</sup> -N) e fosfato dissolvido (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). Por sua vez, para o silício reativo dissolvido (silicato) alíquotas (300 mL) das amostras de água foram filtradas através de uma membrana de éster de celulose mista de poro de 0,45 µm (47 mm de diâmetro, HATF, Millipore, Billerica, EUA).

Os N-NO<sub>x</sub>, P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> e silicato foram analisados de acordo com o protocolo de Aminot e Chaussepied (1983) descrito em Baumgarten *et al.* (1996). Para N-amoniacal, seguiu-se o protocolo sugerido por Strickland e Parsons (1972), descrito em Baumgarten *et al.* (1996). As concentrações de N-NO<sub>x</sub> e N-amoniacal foram somadas e apresentadas como nitrogênio inorgânico total dissolvido (NID). Todas as análises laboratoriais foram realizadas em triplicata, com limites de detecção de 0,05 µM, 0,10 µM, 0,06 µM e 0,14 µM para P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, N-NO<sub>x</sub>, N-amoniacal e silicato, respectivamente.

Para apresentar as distribuições espaciais das concentrações de fosfato, NID e silicato foram criados mapas utilizando o programa Ocean Data View – ODV (SCHLITZER, 2020). Neste programa para realizar a interpolação dos dados se utilizou a função de grade de média ponderada (Weighted-average gridding) com comprimento da escala 70 tanto para X como Y.

### 3.4 Contagem microscópica

A partir de observações das amostras em microscópio óptico foi notável a abundância celular de diatomáceas do gênero *Pseudo-nitzschia* na área de estudo. Em pesquisa realizada por Wright *et al.*, (2009), usando a abordagem HPLC-CHEMTAX, esse gênero representou o grupo de diatomáceas tipo-2, que diferem das diatomáceas tipo-1, pela presença de clorofila *c*<sub>3</sub>. Assim como o gênero *Pseudo-nitzschia*, o gênero *Rhizosolenia* possui clorofila *c*<sub>3</sub> (STAUBER; JEFFREY, 1988) e são citados por Higgins *et al.*, (2011) como componente do



grupo diatomáceas tipo-2. Porém por análises prévias de microscopia óptica foi observado baixa abundância de células do gênero *Rhizosolenia* na região.

Levando em consideração a capacidade toxigênica de algumas espécies do gênero *Pseudo-nitzschia* (JOHNSEN *et al.*, 2011), este juntamente com o de *Rhizosolenia* teve sua abundância celular quantificada por microscopia óptica, a fim de verificar a contribuição relativa dos mesmos para biomassa de diatomáceas tipo-2. O procedimento de coleta utilizado para as amostras destinadas a contagem de fitoplâncton por meio de microscopia foi o mesmo usado para as amostras de pigmentos e nutrientes.

As amostras para contagens das espécies *Pseudo-nitzschia* spp. e de *Rhizosolenia* spp. foram preservadas com solução de lugol 1% em frascos de vidros âmbar de 200 mL. Para a análise, as amostras foram cuidadosamente homogeneizadas cerca de 100 vezes e a sedimentação deu-se em câmaras de Utermöhl (de 10 mL ou 50 mL de volume) por 48 horas (UTERMÖHL, 1958; EDLER; ELBRÄCHTER, 2010). Os organismos foram enumerados em um ou dois transectos (um vertical e um horizontal) ou em um quarto da câmara por meio de microscópio invertido equipado com contraste de fase (Olympus CK2) sob 200 x ampliação. Dada a dificuldade de identificação de *Pseudo-nitzschia* a nível de espécie, que na maioria das vezes só ocorre por meio de microscopia eletrônica, os organismos não foram enumerados levando em consideração este menor nível taxonômico. As *Rhizosolenia* spp. também foram identificadas a nível de gênero.

### **3.5 Análise dos pigmentos por HPLC**

Nesta pesquisa as etapas de filtração das amostras e extração dos pigmentos seguiram a metodologia descrita em Mendes *et al.*, (2007). Para a detecção dos pigmentos, amostras com volumes que variaram de 0,098 a 1 litro foram filtradas sob pressão a vácuo menor que 5 polegadas de Hg, a fim de não romper as células, e sob luz baixa. Não foram necessárias réplicas uma vez que a técnica de HPLC é extremamente precisa e dispendiosa. Os filtros utilizados foram de microfibras de vidro Whatman GF/F com tamanho de poro nominal de 0,7 µm e 25 mm de diâmetro. Após a etapa de filtração, os filtros foram imediatamente armazenados em nitrogênio líquido para congelamento rápido das células, e posteriormente foram transferidos para um freezer a -80 °C.

As análises dos pigmentos foram realizadas no Laboratório de Fitoplâncton e Microrganismos Marinhos do Instituto de Oceanografia da Universidade Federal do Rio Grande

– FURG, sendo que para o transporte adequado as amostras foram acondicionadas em uma caixa de isopor contendo gelo seco. Para a extração dos pigmentos, cada filtro foi introduzido com o auxílio de uma pinça em um tubo para centrífuga no qual foi adicionado 3 mL de solução de extração composta por metanol a 95%, tamponado a frio com 2% de acetato de amônio, contendo 0,1152 mg.mL<sup>-1</sup> de trans-β-apo-8'-carotenal como padrão interno. Com bastões de vidro, os filtros foram macerados, armazenados durante 30 minutos em um freezer a -20 °C, em seguida ultrassonificados por 5 minutos em banho frio, e armazenados novamente por mais 30 minutos a -20°C. Finalizada a etapa de extração, os extratos contendo os filtros macerados foram centrifugados em uma centrífuga refrigerada a 2 °C durante 5 minutos a 3500 rpm. Em seguida filtrou-se o sobrenadante utilizando um filtro de membrana Millipore PTFE com 0,2 µm de poro. Em frascos (*vials*) específicos para cromatografia misturou-se uma alíquota de 1000 µL de amostra a 400 µL de água Milli-Q e a solução foi injetada no HPLC da marca Shimadzu com refrigeração a 4°C.

O HPLC utilizado é equipado por um desgaseificador (DGU-20A), um módulo distribuidor de solvente (LC-20AD), um injetor automático de amostras (SIL-20AC), um detector de matriz de fotodiodo (SPD-M20A, comprimento de onda 190 a 800 nm, 1 nm de resolução espectral), um forno de coluna (CTO-20AC), e um detector de fluorescência (RF-10AXL, excitação 430 nm/emissão 670nm). O método adotado para a identificação de clorofilas e carotenoides por HPLC está descrito em Zapata *et al.* (2000), sendo que se utilizou uma coluna monomérica C8 de fase reversa com uma fase móvel contendo piridina. Os limites de detecção e quantificação do referido método estão devidamente descritos/discutidos em Mendes *et al.* (2007).

A partir de seus espectros de absorbância e tempos de retenção, os pigmentos presentes nas amostras foram identificados e quantificados. As suas concentrações foram calculadas a partir dos sinais obtidos pelo detector de fotodíodos em comparação com os padrões comerciais de pigmentos obtidos no DHI (Instituto de Água e Meio Ambiente, Dinamarca), os quais foram utilizados para calibração do HPLC. Para a integração dos picos foi utilizado o programa *LCSolution* (Shimadzu), sendo que todas as integrações foram verificadas manualmente e corrigidas sempre que necessário.

Na tabela 2, estão listados os 21 pigmentos detectados nesta pesquisa e suas respectivas abreviaturas. As concentrações destes pigmentos são informadas nos apêndices A e B, respectivamente, para as amostras de subsuperfície e de 2ª profundidade.

Tabela 2 — Pigmentos detectados na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil) e suas abreviações.

Pigmento	Abreviatura
Clorofila <i>a</i>	Chl <i>a</i>
Divinil clorofila <i>a</i>	DV Chl <i>a</i>
Clorofila <i>b</i>	Chl <i>b</i>
Clorofila <i>c</i> <sub>2</sub>	Chl <i>c</i> <sub>2</sub>
Clorofila <i>c</i> <sub>2</sub> Monogalactosil diacilglicerol	Chl <i>c</i> <sub>2</sub> MGDG
Clorofila <i>c</i> <sub>3</sub>	Chl <i>c</i> <sub>3</sub>
Mg-3,8-divinil protoclorofilida	Mg DVP
Fucoxantina	Fuco
19'-butanoiloxi-fucoxantina	But
19'-hexanoiloxi-fucoxantina	Hex
Diadinoxantina	Diad
Aloxantina	Allo
Diatoxantina	Diato
Zeaxantina	Zea
βε-caroteno	βε-car
ββ-caroteno	ββ-car
Peridinina	Per
Violaxantina	Viola
Clorofilida <i>a</i>	Chlide <i>a</i>
Feoforbídeo <i>a</i>	Pheide <i>a</i>
Feofitina <i>a</i>	Phe <i>a</i>

Fonte: Elaborada pela autora.

Para assegurar a qualidade dos dados de concentrações dos pigmentos obtidas realizou-se os métodos estatísticos de controle de qualidade propostos por Aiken *et al.*, (2009), em que os resultados da diferença entre a clorofila *a* total (soma da Chl *a*, DV Chl *a* e Chlide *a*) e os pigmentos acessórios de cada amostra devem ser inferiores a 30% da concentração total de pigmentos. Além disso, o declive da regressão entre a clorofila *a* total e o total de pigmentos acessórios deve ficar entre 0,7 e 1,4, com um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) superior a 0,9. No conjunto de dados analisado, a diferença entre a clorofila *a* e os pigmentos acessórios foi sempre inferior a 30%, e a regressão entre clorofila *a* total e pigmentos acessórios apresentou um declive de 0,8 e um  $r^2 > 0,9$ , ou seja, ficou em conformidade com o proposto por Aiken *et al.* (2009).

### 3.6 Análise da abundância de classes por CHEMTAX

Uma vez obtidas as concentrações de pigmentos que caracterizam os grupos de fitoplâncton da região e os valores de clorofila *a* total, foi quantificada a contribuição de cada grupo para a biomassa total por meio do programa de taxonomia química, CHEMTAX, desenvolvido por Mackey *et al.* (1996) na versão otimizada (versão 1.95) por Wright *et al.* (2009). Este programa, que foi inicialmente descrito na introdução, necessita das inclusões de uma matriz contendo as concentrações de pigmentos obtidas por HPLC; de uma matriz inicial de razões pigmentares típicas de cada grupo taxonômico considerado, a qual é obtida na literatura ou de dados de campo já existentes para a região; e de uma matriz de limites que determinam o quanto a matriz de razão inicial pode variar (WRIGHT; JEFFREY, 2006). Os procedimentos e cálculos são descritos detalhadamente em Mackey *et al.* (1996).

A matriz inicial com as razões pigmentares (Tabela 3a) foi obtida de Higgins *et al.* (2011), e os grupos quimiotaxonômicos foram identificados de acordo com Jeffrey *et al.* (2011). A partir dos pigmentos identificados pelo HPLC, 8 grupos de algas foram considerados no CHEMTAX: Flagelados verdes (com clorofila *b* – clorófitas e prasinófitas), dinoflagelados, criptófitas, haptófitas, *Synechococcus*, *Prochlorococcus*, diatomáceas tipo-1 e diatomáceas tipo-2.

No CHEMTAX foram incluídos 11 pigmentos: Per, But, Fuco, Hex, Chl *c*<sub>3</sub>, Chl *c*<sub>2</sub>, Viola, Allo, Zea, DV Chl *a* e Chl *a* (ver os significados das abreviações na Tabela 2). Diferentemente dos demais grupos, em que a biomassa foi representada pelas concentrações de Chl *a*, para o gênero *Prochlorococcus* foi utilizado o pigmento DV Chl *a*, sendo a clorofila *a* total (biomassa) da região o somatório entre Chl *a* e DV Chl *a*. Na tabela 4 encontram-se os pigmentos marcadores que foram considerados na análise de CHEMTAX para cada grupo de fitoplâncton.

Tabela 3 — Razões de entrada (a) e de saída (b) de pigmentos usadas na análise CHEMTAX.

	Per	But	Fuco	Hex	Chl <i>c</i> <sub>3</sub>	Chl <i>c</i> <sub>2</sub>	Viola	Allo	Zea	Chl <i>b</i>	DV Chl <i>a</i>	Chl <i>a</i>
(Continua)												
<b>a) Matriz de entrada</b>												
Flagelados verdes	0	0	0	0	0	0	0,05	0	0,05	0,51	0	1
Dinoflagelados	0,56	0	0	0	0	0,26	0	0	0	0	0	1
Criptófitas	0	0	0	0	0	0,13	0	0,38	0	0	0	1
Haptófitas	0	0,05	0,27	0,42	0,17	0	0	0	0	0	0	1
Diatomáceas tipo-1	0	0	0,78	0	0	0,18	0	0	0	0	0	1
Diatomáceas tipo-2	0	0	1,00	0	0,08	0,28	0	0	0	0	0	1
<i>Synechococcus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,64	0	0	1
<i>Prochlorococcus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,39	0,99	1	1

Tabela 3. Razões de entrada (a) e de saída (b) de pigmentos usadas na análise CHEMTAX.  
(Conclusão)

	Per	But	Fuco	Hex	Chl c3	Chl c2	Viola	Allo	Zea	Chl b	DV Chl a	Chl a
<b>b) Matriz de saída</b>												
<b>Subsuperfície</b>												
Flagelados verdes	0	0	0	0	0	0	0,03	0	0,03	0,28	0	1
Dinoflagelados	0,31	0	0	0	0	0,12	0	0	0	0	0	1
Criptófitas	0	0	0	0	0	0,09	0	0,19	0	0	0	1
Haptófitas	0	0,06	0,15	0,22	0,08	0	0	0	0	0	0	1
Diatomáceas tipo-1	0	0	0,37	0	0	0,08	0	0	0	0	0	1
Diatomáceas tipo-2	0	0	0,27	0	0,05	0,11	0	0	0	0	0	1
<i>Synechococcus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,58	0	0	1
<i>Prochlorococcus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,20	0,22	1	0
	Peri	But	Fuco	Hex	Chl c3	Chl c2	Viola	Allo	Zea	Chl b	DV Chl a	Chl a
<b>2ª profundidade</b>												
Flagelados verdes	0	0	0	0	0	0	0,03	0	0,03	0,29	0	1
Dinoflagelados	0,27	0	0	0	0	0,14	0	0	0	0	0	1
Criptófitas	0	0	0	0	0	0,09	0	0,24	0	0	0	1
Haptófitas	0	0,06	0,13	0,24	0,08	0	0	0	0	0	0	1
Diatomáceas tipo-1	0	0	0,36	0	0,00	0,09	0	0	0	0	0	1
Diatomáceas tipo-2	0	0	0,22	0	0,09	0,12	0	0	0	0	0	1
<i>Synechococcus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,58	0	0	1
<i>Prochlorococcus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0,20	1	0

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 4 — Grupos quimiotaxonômicas e os respectivos pigmentos utilizados nos procedimentos de CHEMTAX.

Grupos Quimiotaxonômicas	Pigmentos usados no CHEMTAX
Flagelados verdes	Chl <i>a</i> , Viola, Zea e Chl <i>b</i>
Dinoflagelados	Chl <i>a</i> , Per e Chl <i>c</i> <sub>2</sub>
Criptófitas	Chl <i>a</i> , Chl <i>c</i> <sub>2</sub> e Allo
Haptófitas	Chl <i>a</i> , But, Fuco, Hex, Chl <i>c</i> <sub>3</sub>
Diatomáceas tipo-1	Chl <i>a</i> , Fuco e Chl <i>c</i> <sub>2</sub>
Diatomáceas tipo-2	Chl <i>a</i> , Fuco, Chl <i>c</i> <sub>3</sub> e Chl <i>c</i> <sub>2</sub>
<i>Synechococcus</i>	Chl <i>a</i> e Zea
<i>Prochlorococcus</i>	DV Chl <i>a</i> , Zea e Chl <i>b</i>

Fonte: Elaborada pela autora.

Como recomendado por Mackey *et al.* (1996) foram realizadas análises independentes para cada profundidade usando a mesma matriz inicial (Tabela 3a). Foi adotada a metodologia descrita por Wright *et al.* (2009), a qual visa otimizar a matriz inicial, gerando 60 matrizes aleatórias de razões pigmentares onde se multiplica cada célula da matriz inicial pela função aleatória:

$$F = 1 + S \times (R - 0,5)$$

em que F é um fator determinado aleatoriamente; S é um fator escalar o qual foi adotado o valor 0,7; e R é um número aleatório entre 0 e 1 que foi gerado pela função RAND do Microsoft Excel.

Ainda de acordo com o procedimento de Wright *et al.* (2009), as 60 matrizes obtidas foram usadas como ponto de partida pelo CHEMTAX para gerar igual número de matrizes de razões finais. Destas foram selecionadas 10% (n = 6) com base nos menores valores de raiz do erro quadrático médio (em inglês, RMSE) para calcular as proporções e abundâncias dos grupos, as quais são os resultados das médias das seis matrizes. As matrizes de razão de final para cada profundidade são apresentadas na tabela 3b.

Assim como para as representações das distribuições espaciais dos nutrientes inorgânicos dissolvidos, o programa Ocean Data View – ODV (SCHLITZER, 2020) foi utilizado para confeccionar os mapas das distribuições espaciais das biomassas total e de cada grupo do fitoplâncton, sendo adotadas as mesmas instruções para interpolação dos dados.

### 3.7 Cálculo do índice TRIX (Índice Trófico)

A fim de corroborar com a informação já existente de que a plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste se trata de um ambiente oligotrófico, foi realizado o cálculo do modelo TRIX. Este é um índice multiparamétrico proposto para identificar o grau trófico de águas marinhas costeiras e foi desenvolvido tendo como referência amostras do Mar Adriático, que contemplavam desde condições oligotróficas a altamente eutróficas (VOLLENWEIDER *et al.*, 1998). Este modelo utiliza os seguintes componentes:

- a) Fatores que expressam diretamente a produção primária: Clorofila-*a*: [ $\text{mg.m}^{-3}$ ] e o oxigênio dissolvido como desvio percentual absoluto da saturação: [ $\text{abs } 100|-\%O| = \text{aD}\%0$ ] e;
- b) Fatores que expressam o estado nutricional: nitrogênio inorgânico dissolvido como N-(NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>+NH<sub>4</sub>):[NID =  $\text{mg.m}^{-3}$ ] e fósforo inorgânico dissolvido como P-PO<sub>4</sub>: [PO<sub>4</sub> =  $\text{mg.m}^{-3}$ ].

Abaixo a equação sintetizada proposta por VOLLENWEIDER *et al.*, (1998), a qual adotamos para confirmar a oligotrofia da plataforma continental estudada:

$$\text{TRIX} = [\text{Log}(\text{Chl } a \times \text{aD}\%O \times \text{NID} \times \text{PID}) - (-1,5)]/1,2$$

Os valores -1,5 e 1,2 da equação se referem, respectivamente, as constantes k e m. A constante k foi obtida pelos pesquisadores somando-se os limites inferiores dos parâmetros acima listados e a constante m pela diferença entre os entre limites superiores e inferiores de cada parâmetro, dividido por 10 (valor máximo do índice TRIX).

A classificação proposta por Caiaffa (1999), Giovanardi *et al.*, (2002) e Penna *et al.*, (2004) citados por Nasrollahzadeh *et al.*, (2008) será adotada para classificar estado trófico da plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Tabela 5). A escala do índice TRIX varia de 0 a 10, porém esses pesquisadores não adotam o estado hipertrófico (8 a 10).

Tabela 5— Classificação do estado trófico usando o índice trófico (TRIX).

Escala trófica	Condição do ambiente	Estado trófico
<2	- Água muito pouco produtiva. Estado trófico muito baixo	Excelente (ultra-oligotrófico)
2- 4	- Água pouco produtiva. Baixo status trófico	Alto (oligotrófico)
4-5	- Água moderadamente produtiva. Estado trófico médio	Bom (mesotrófico)
5-6	- Água moderada a altamente produtiva. Alto status trófico	Moderado (mesotrófico a eutrófico)
6-8	- Água altamente produtiva. Estado trófico mais alto	Fraco (eutrófico)

Fonte: Caiaffa (1999), Giovanardi *et al.*, (2002) e Penna *et al.*, (2004) citados por Nasrollahzadeh *et al.*, (2008).

Foram obtidos dados de oxigênio dissolvidos apenas para a subsuperfície, desta forma apenas amostras dessa profundidade foram utilizadas para calcular o índice TRIX. Para o índice TRIX médio da plataforma, as amostras cujos os valores de NID e/ou fosfato foram menores que o limite de detecção não foram consideradas. Já quanto ao oxigênio dissolvido, nas amostras E1s e E2s não foram realizadas as leituras desse parâmetro, sendo essas amostras desconsideradas no que se refere ao cálculo da média do aD%O. Além do TRIX médio, foi possível calcular o TRIX das amostras E3s, E4s, E5s, E6s e E10s, uma vez que para estas, todos os componentes (Chl *a*, aD%O, NID e PID) do modelo puderam ser medidos.

### 3.8 Análises Estatísticas

As concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, silicato e NID), os valores de biomassa total bem como os de biomassa de cada um dos oito grupos do fitoplanctônicos passaram, primeiramente, por avaliações de suas normalidades pelo teste de Shapiro-Wilk. Este teste visa identificar se os dados seguem distribuição normal (dados paramétricos =  $p > 0,05$ ) ou não normal (não paramétricos =  $p < 0,05$ ) (SOUTO-SOUSA, L.;

SOUTO-SOUSA, E., 2020) e identificou que apenas as diatomáceas tipo-2 seguiram distribuição normal.

Após testadas as normalidades dos dados, verificou-se a possível existência de diferenças estatísticas significativas entre os dados de subsuperfície e 2ª profundidade. Para as diatomáceas tipo-2 foi realizado o Teste t indicado para dados que seguem uma distribuição normal, já para os demais que foram identificados como não normais usou-se o teste Wilcoxon (Mann-Whitney) (SOUSA-SOUTO, L.; SOUSA-SOUTO, E., 2020). Tais testes mostraram que todos as variáveis analisadas não apresentaram diferenças estatísticas significativas ( $p > 0,05$ ) entre as duas profundidades.

Com objetivo de observar o padrão de distribuição espacial entre as estações, realizou-se uma análise de agrupamento utilizando a similaridade de Bray-Curtis com base na transformação da raiz quadrada dos dados de biomassa dos grupos fitoplancctônicos. O método de agrupamento foi o das médias não ponderadas de grupos pareados (UPGMA). Considerando as pequenas diferenças entre as concentrações das duas profundidades, as contribuições relativas dos grupos em cada estação foram apresentadas como seus valores médios. Para verificar se a formação dos grupos observados na análise de agrupamento foi significativa utilizou-se o teste de variância com permutação (PERMANOVA) com 999 permutações e nível de significância de  $p < 0,05$ .

Para correlacionar as abundâncias de células do gênero *Pseudo-nitzschia* e *Rhizosolenia* obtidos por microscopia óptica e a biomassa de diatomáceas tipo-2 derivada da técnica de HPLC-CHEMTAX, foram realizadas a análise de correlação de Spearman ( $r^2$ ) ( $p < 0,05$ ) e teste de regressão linear ( $p < 0,05$ ). Antes destas análises os dados foram transformados em raiz a quarta.

Para correlacionar as variáveis físico-químicas (transparência da água,  $P-PO_4^{3-}$ , silicato e NID) com a biomassa total e biomassa de cada grupo realizou-se a análise de correlação de Spearman ( $p < 0,05$ ), uma vez que a maioria dos dados seguem distribuição não normal (exceto diatomáceas tipo-2). Para esta análise também se considerou os valores das médias resultantes das duas profundidades.

O programa PAST - Paleontological Estatísticas Version versão 2.17c (HAMMER *et al.*, 2001) foi utilizado para todas as análises estatísticas, exceto para a análise PERMANOVA que foi feita usando o pacote vegan no software R (OKSANEN *et al.*, 2019).

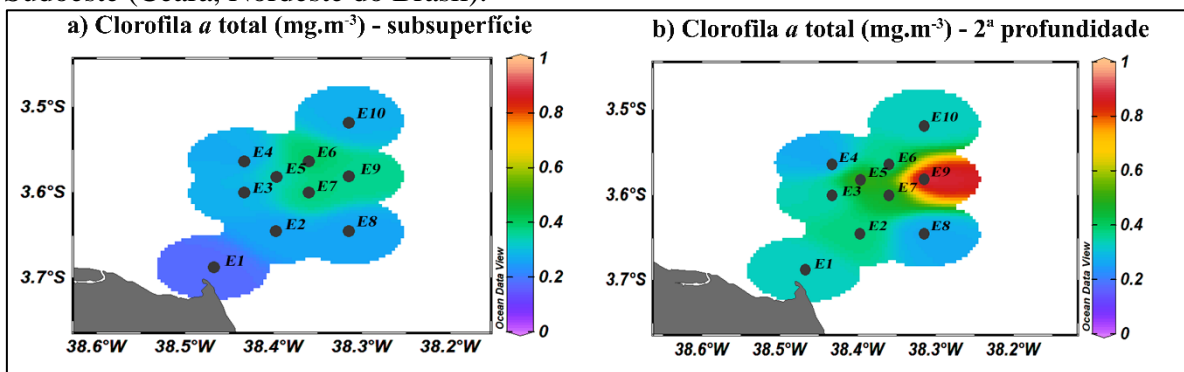


## 4 RESULTADOS

### 4.1 Biomassa (clorofila *a* total) e composição da comunidade fitoplanctônica

Os valores de biomassa encontrados foram sempre  $\leq 0,53 \text{ mg.m}^{-3}$ , exceto na 2ª profundidade da estação E9, cujo a biomassa foi de  $0,91 \text{ mg.m}^{-3}$  (Figura 2). A biomassa média da região foi de  $0,36 \pm 0,15 \text{ mg.m}^{-3}$ , com concentrações na subsuperfície variando de 0,18 a  $0,4 \text{ mg.m}^{-3}$  (média =  $0,3 \pm 0,07 \text{ mg.m}^{-3}$ ) e na 2ª profundidade de 0,26 a  $0,91 \text{ mg.m}^{-3}$  (média =  $0,42 \pm 0,19 \text{ mg.m}^{-3}$ ). Observou-se que as amostras tanto de subsuperfície como de 2ª profundidade das estações E5, E6, E7, localizadas dentro da área de ocorrência dos recifes tropicais e E9 situada na área de entorno a leste apresentaram valores relativamente maiores de biomassa.

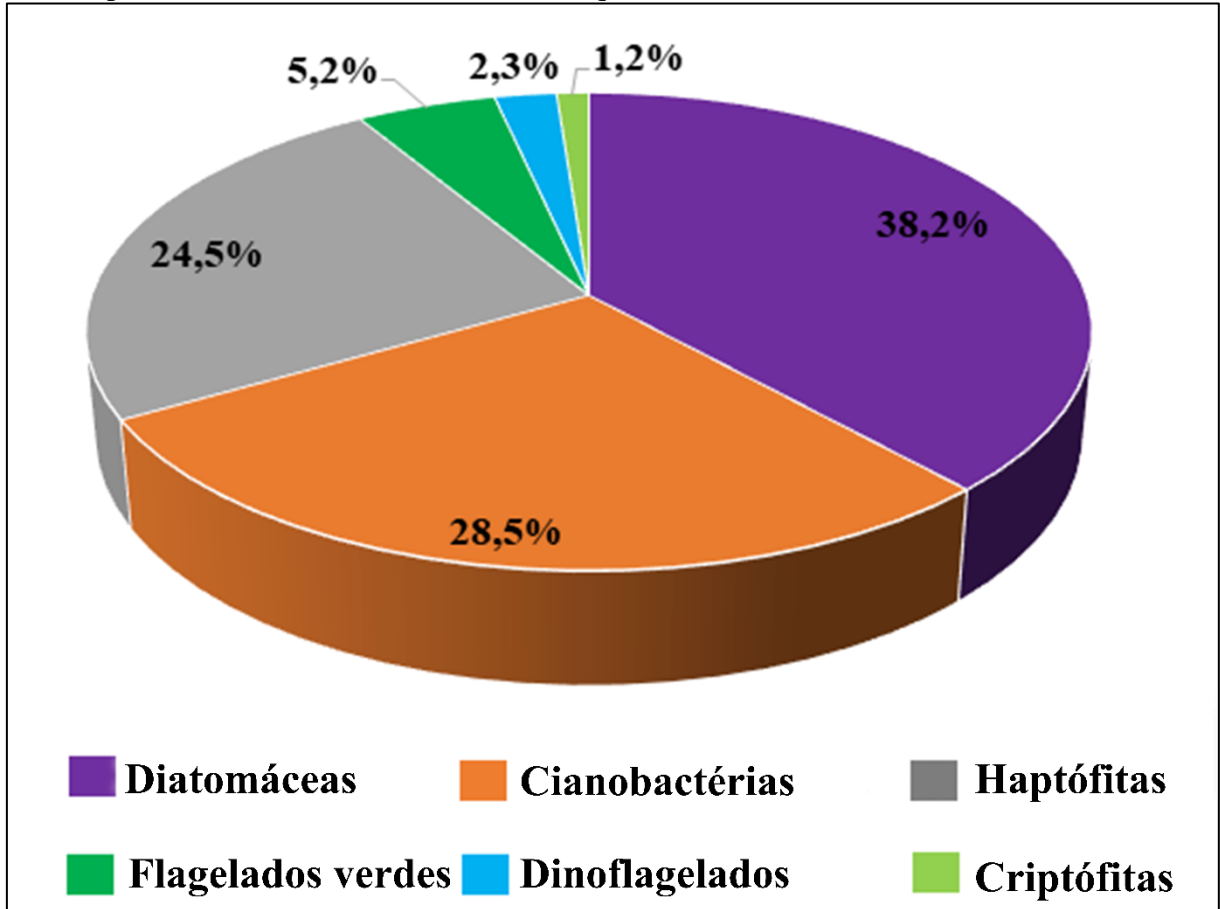
Figura 2 – Distribuições espaciais das concentrações de clorofila *a* total nas amostras de subsuperfície (a) e 2ª profundidade (b) na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil).



Fonte: Elaborada pela autora.

Os resultados indicaram que as diatomáceas (diatomáceas tipo-1 = 15,9% e diatomáceas tipo-2 = 22,3%) seguidas das cianobactérias (*Synechococcus* = 22% e *Prochlorococcus* = 6,5%) e haptófitas (24,5%) são os principais grupos a contribuírem com a biomassa total (Figura 3), sendo juntos responsáveis por 91,2%. Apesar de serem os principais componentes, observou-se alta variação de suas contribuições relativas entre as diferentes estações analisadas (diatomáceas = 14,5 a 66,6%, cianobactérias = 15 a 54,4% e haptófitas = 11,2 a 41,9%) considerando tanto as amostras de subsuperfície e 2ª profundidade. Os flagelados verdes (clorófitas mais prasinófitas), dinoflagelados e criptófitas com médias (Figura 3), respectivamente, de 5,2% (0 a 13,7%), 2,3% (0 a 6,4%) e 1,2% (0 a 10,2%) apresentaram menores contribuições para a biomassa (Consultar os apêndices C e D para visualização das distribuições espacial das contribuições absolutas de cada grupo em ambas as profundidades).

Figura 3 — Médias das contribuições relativas de cada grupo fitoplanctônico para a clorofila *a* total da plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil).



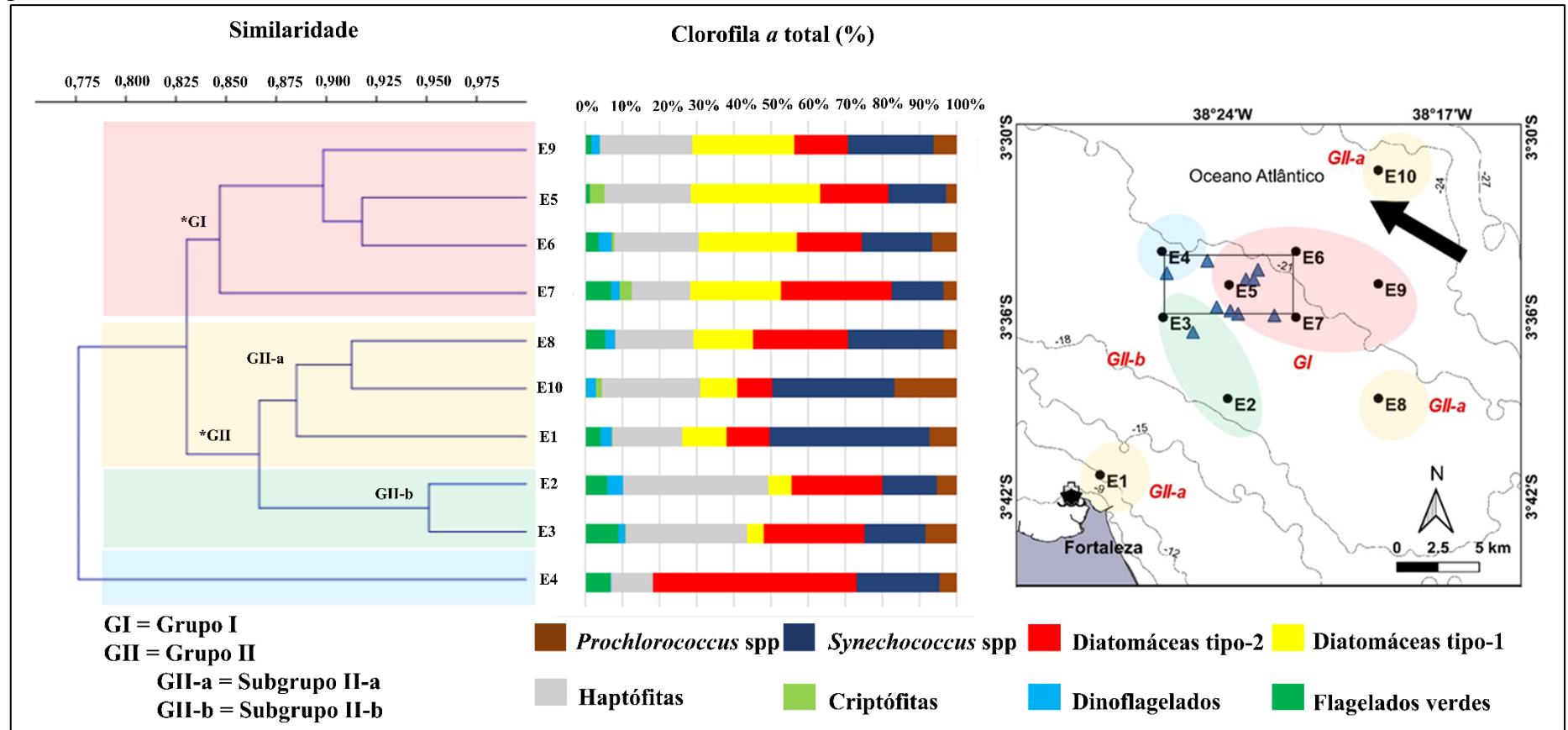
Fonte: Elaborada pela autora.

Na análise de agrupamento foi possível distinguir dois grandes grupos significativamente diferentes considerando o nível de similaridade de 80% (Figura 4). O grupo I foi formado pelas estações E5, E6 e E7 (dentro da área de ocorrência dos recifes) e pela E9 (área de entorno a leste), sendo estas estações caracterizadas principalmente pela maior contribuição relativa de diatomáceas tipo-1 (Figura 4; variação da contribuição relativa = 24,5 a 35%). O grupo II foi formado pelas demais estações, exceto E4, e foi subdividido em dois subgrupos menores. O subgrupo II-a foi formado pela estação mais costeira (E1), e pelas estações na área de entorno E10 e E8 a leste dos recifes, tendo essas três estações se diferenciado das demais por terem sido aquelas com as maiores contribuições relativas de *Synechococcus* (Figura 4; variação da contribuição relativa = 25,7 a 43,1%). Cabe salientar que, embora *Synechococcus* tenha apresentado em todas as estações valores de contribuição relativa superiores aos de *Prochlorococcus*, foi na estação mais costeira (E1 = 43,01%) que se deu a maior contribuição de *Synechococcus*, em contraste, com o aumento da contribuição de *Prochlorococcus* na estação mais distante da costa (E10 = 16,8%) (Figura 4). Ainda sobre E1

e E10, destacam-se as menores contribuições relativas de diatomáceas tipo-2 (Figura 4; contribuição relativa = 11,7% e 9,4, respectivamente) quando comparadas às demais estações.

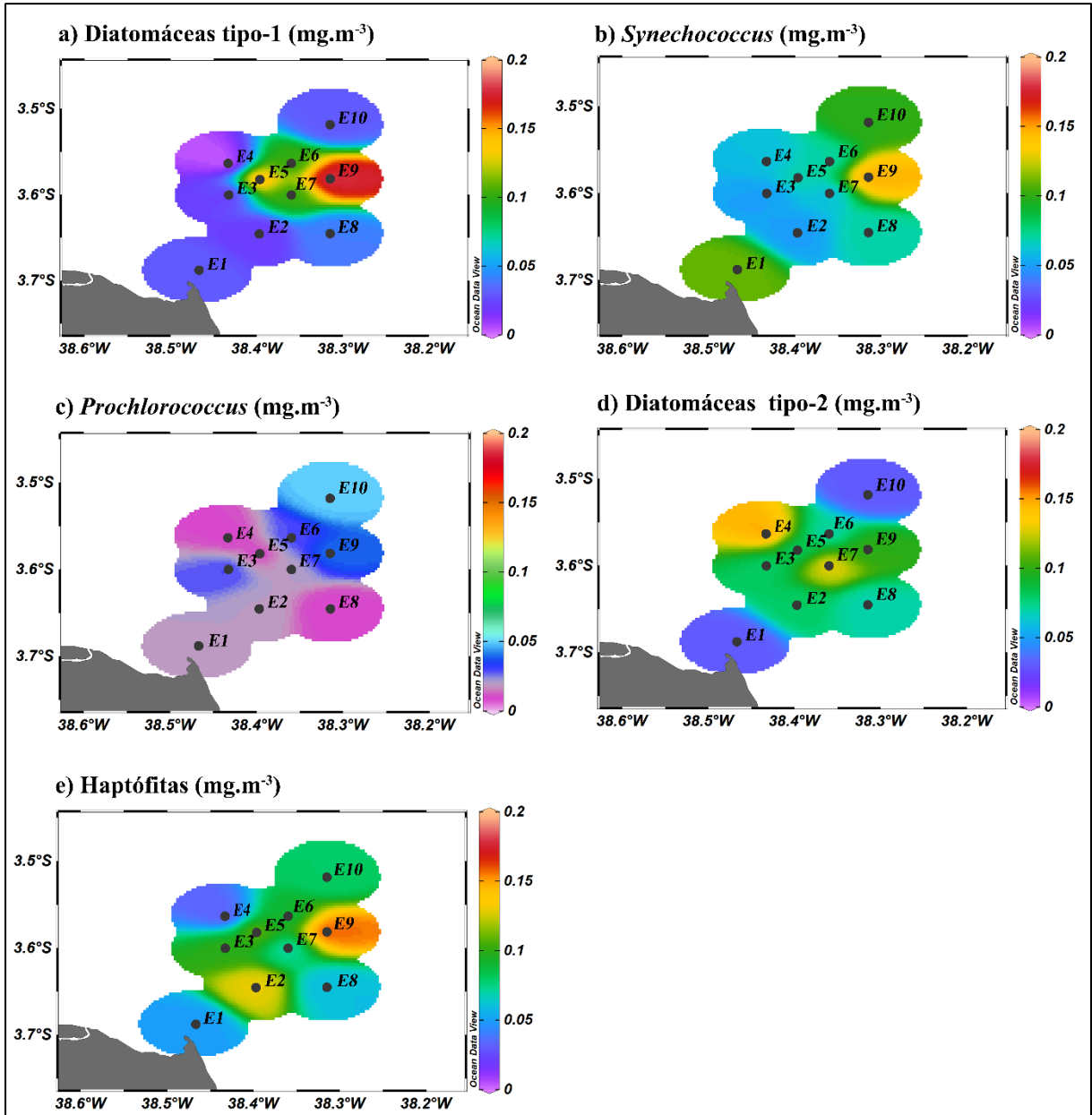
Por sua vez, o subgrupo II-b, foi formado pelas estações E3 localizada na área oeste de ocorrência dos recifes e E2 na área de entorno em direção a costa, e foram ambas caracterizadas pela maior contribuição relativa de haptófitas (Figura 4; contribuição relativa 32,8% e 39%, respectivamente) em relação às demais estações. E por fim, diferindo de todas as estações dos grupos I e II, esteve a E4 que se localiza dentro do parque (contorno oeste), e se destacou das demais estações pela alta contribuição relativa de 54,9% das diatomáceas tipo-2 (Figura 4). Na Figura 5, é possível ver as distribuições espaciais médias com base nos dados de contribuições absolutas dos principais grupos de fitoplâncton da plataforma continental Equatorial Sudoeste.

Figura 4 — Análise de similaridade com índice de Bray-Curtis aplicados a biomassa de cada grupo fitoplanctônico da plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil). Cores rosas e azuis claras mostram a formação dos agrupamentos (GI, GII-a, GII-b) por similaridade.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 5 – Distribuições espaciais médias das contribuições absolutas de diatomáceas tipo-1 (a), *Synechococcus* (b), *Prochlorococcus* (c), diatomáceas tipo-2 (d), haptófitas (e) para a clorofila *a* total na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil).



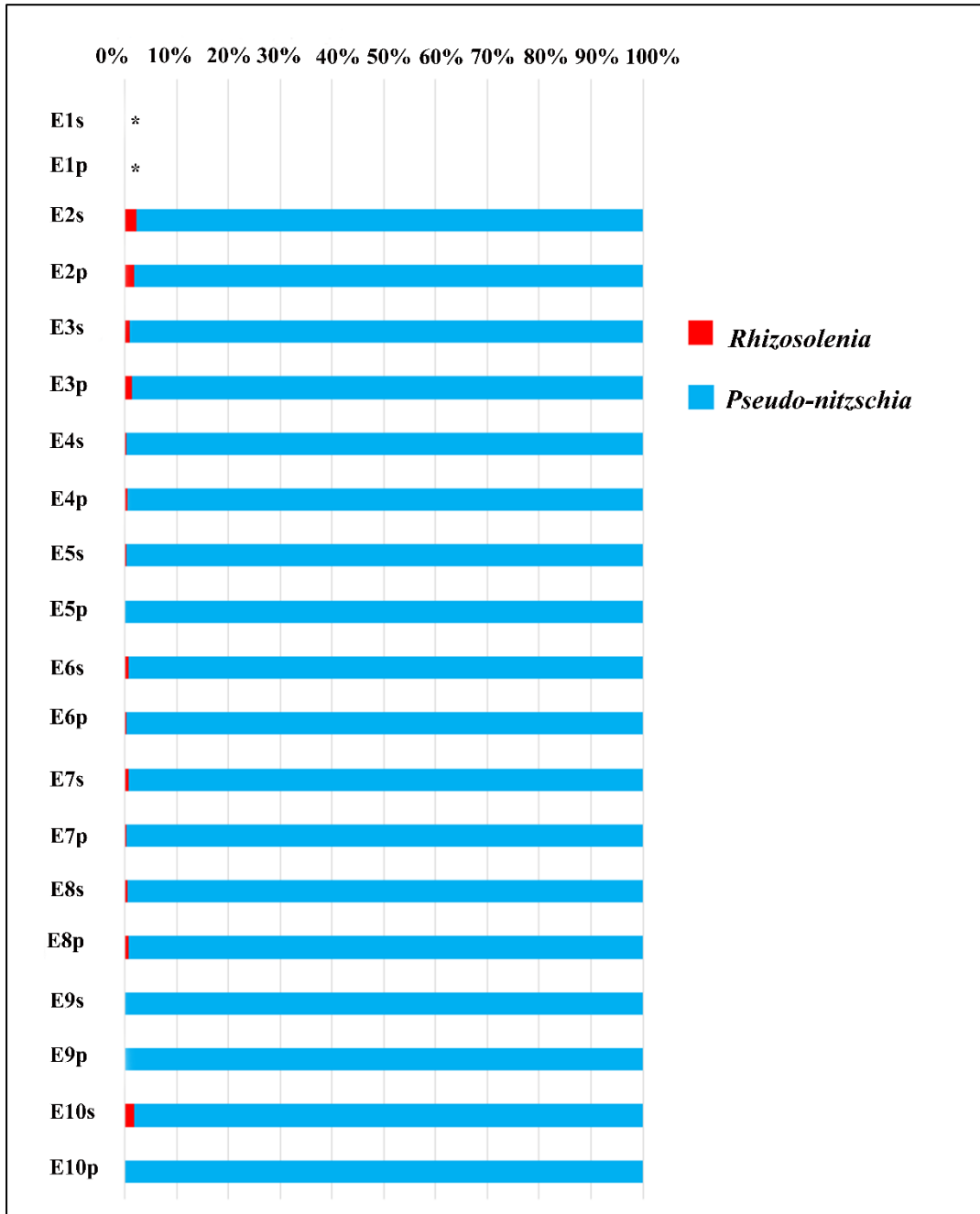
Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4.2 Abundância celular dos gêneros *Pseudo-nitzschia* e *Rhizosolenia* versus HPLC-CHEMTAX

A abundância de células de *Pseudo-nitzschia* (não detectada a  $5,8 \times 10^5$  células.  $L^{-1}$ , média =  $2,2 \times 10^5$  células.  $L^{-1}$ ), foi superior as do gênero *Rhizosolenia* (não detectada a  $3,9 \times 10^3$  células.  $L^{-1}$ , média =  $1,02 \times 10^3$  células.  $L^{-1}$ ), desta forma conclui-se que o gênero *Pseudo-*

*nitzschia* foi responsável por quase a totalidade da biomassa de diatomáceas tipo-2 quantificada pelo método HPLC-CHEMTAX (Figura 6).

Figura 6 — Comparação entre a abundância celular dos gêneros *Pseudo-nitzschia* e *Rhizosolenia* (%), na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil). O símbolo “\*” significa não detectada. As letras “s” e “p” foram usadas após o número da estação para se referirem, respectivamente, as amostras de subsuperfície e 2ª profundidade.

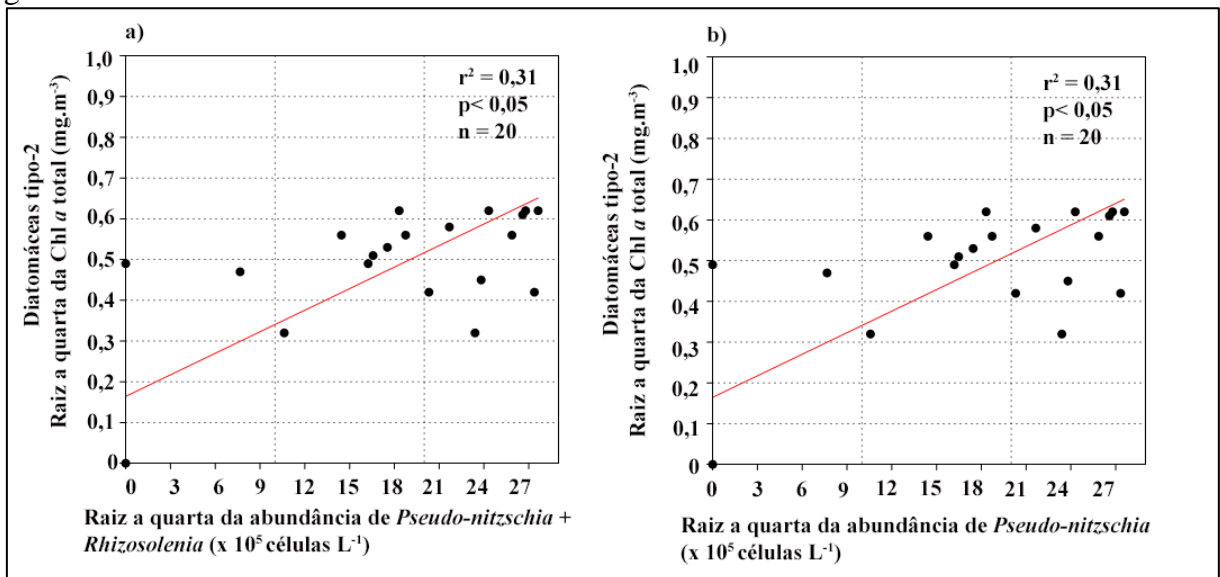


Fonte: Elaborada pela autora.

Foram realizados dois testes de correlação de Spearman, o primeiro, entre os valores de biomassa de diatomáceas tipo-2 e os dados da soma de abundância celular de *Pseudo-nitzschia* e *Rhizosolenia*, que mostrou a existência de correlação significativa positiva ( $p < 0,05$ ; coeficiente de Spearman ( $r_s$ ) = 0,46) entre os dados de HPLC-CHEMTAX e os de microscopia. No segundo teste, realizado entre a biomassa de diatomáceas tipo-2 e apenas a abundância celular de *Pseudo-nitzschia*, obteve-se também a existência de correlação significativa positiva ( $p < 0,05$ ;  $r_s = 0,46$ ) entre os dados, sem alteração nos valores de  $p$  e de  $r_s$  em relação ao primeiro teste, uma vez que a abundância de *Rhizosolenia* pouco contribuiu.

Após assegurada a existência de correlação entre os dados das duas técnicas, buscou-se saber por meio de regressão linear, o quanto os valores de abundância celular (variável independente) explicam as variações nos dados de diatomáceas tipo-2 (variável dependente). Um primeiro teste foi realizado com os dados da soma de abundância celular de *Pseudo-nitzschia* e *Rhizosolenia* (Figura 7a), no qual o coeficiente de determinação ( $r^2 = 0,31$ ) foi baixo, informando que os dados de contagens explicam apenas 31% da variação na biomassa de diatomáceas tipo-2. Uma segunda análise de regressão linear (7b) realizada entre apenas a abundância de *Pseudo-nitzschia* e a biomassa de diatomáceas tipo-2, mostrou que não houve alteração no valor no coeficiente de determinação. Isto indicou mais uma vez que a abundância de *Rhizosolenia* por ser baixa, pouco contribuiu para a biomassa de diatomáceas tipo-2.

Figura 7 — Gráfico de dispersão entre os valores de biomassa de diatomáceas tipo-2 ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) e abundância de células de *Pseudo-nitzschia* e *Rhizosolenia*, obtidos respectivamente, por HPLC-CHEMTAX e contagem por microscopia. O coeficiente de determinação ( $r^2$ ) é mostrado no gráfico.



Fonte: Elaborada pela autora.

### 4.3 Variáveis ambientais

As estações tiveram profundidades máximas que variaram de 16,5 a 28,8 m (Tabela 6). A estação mais costeira E1 (16,5 m) teve a menor profundidade, enquanto as estações E6 (28,8 m) e E9 (27,7 m) foram as mais profundas. Os valores de transparência da água variaram de 3,2 a 5,6 metros, com os valores mínimo e máximo, respectivamente, nas estações E10 e E2. Na estação E1, a transparência da água foi de 4,6 m, o que mostra que mesmo sendo a mais próxima do aporte continental não teve a menor transparência (Tabela 6). Os limites das  $Z_{eu}$  variaram de 8,6 a 15,1 m, tendo sido em todas as estações bem próximos a 2ª profundidade de cada estação, chegando a serem superiores em E2, E3, E4, E5, E7, além da estação E1, a mais próxima da costa e assim com maior influência do aporte continental (Tabela 6).

Tabela 6 — Variáveis ambientais (profundidade de coleta, profundidade máxima e zona eufótica) da plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil). As letras “s” e “p” foram usadas após o número da estação para se referirem, respectivamente, as amostras de subsuperfície e 2ª profundidade.

Estação	Amostra	Profundidade de coleta (m)	Profundidade máxima (m)	Secchi (m)	Zona eufótica (m)
E1	E1s	0,15	16,5	4,6	12,4
	E1p	8			
E2	E2s	0,15	22,1	5,6	15,1
	E2p	11			
E3	E3s	0,15	23	4,6	12,4
	E3p	12			
E4	E4s	0,15	25,7	5	13,5
	E4p	13			
E5	E5s	0,15	20	5	13,5
	E5p	10			
E6	E6s	0,15	28,8	3,6	9,7
	E6p	14			
E7	E7s	0,15	25,9	5,2	14
	E7p	13			
E8	E8s	0,15	25,4	3,8	10,3
	E8p	12,7			
E9	E9s	0,15	27,7	4	10,8
	E9p	14			
E10	E10s	0,15	25,7	3,2	8,6
	E10p	13			

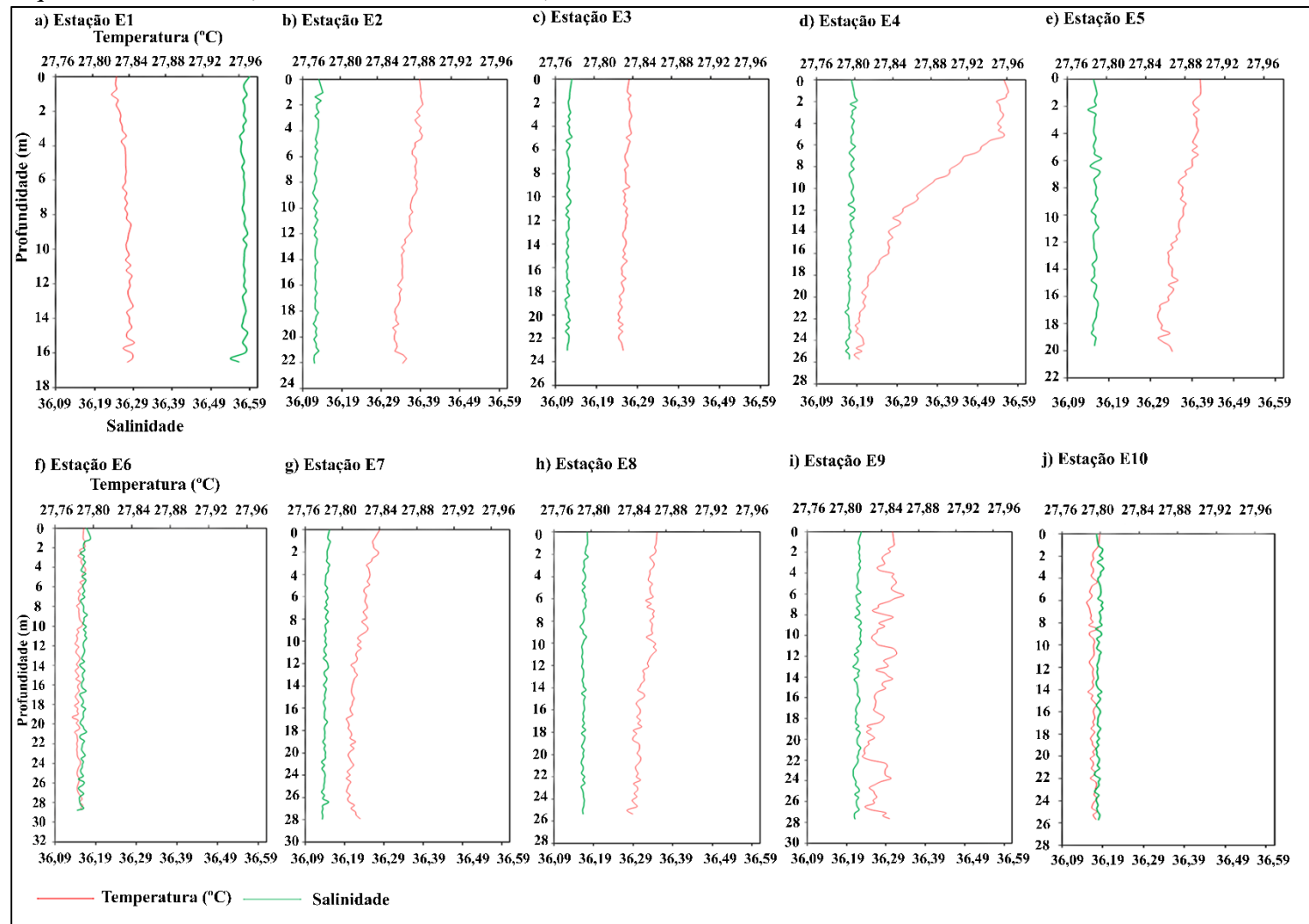
Fonte: Elaborada pela autora.



Para a temperatura observou-se que em todas as estações as colunas d'água se comportaram de maneira homogênea (Figuras 8a-j), com diferenças verticais pequenas. Especialmente, as variações também foram pequenas, com médias variando de 27,8 a 27,9°C.

Quanto à salinidade (Figura 8a-j), a estratificação vertical também foi praticamente ausente em todas as estações. Considerando a média da coluna d'água de cada estação, a maior salinidade foi encontrada na estação mais próxima da costa (média de E1=36,6), porém ainda com pequena diferença entre as médias das demais estações (variação das médias das demais estações = 36,1 a 36,2).

Figura 8 – Perfis verticais de temperatura e salinidade das estações E1 a E10 da plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil).

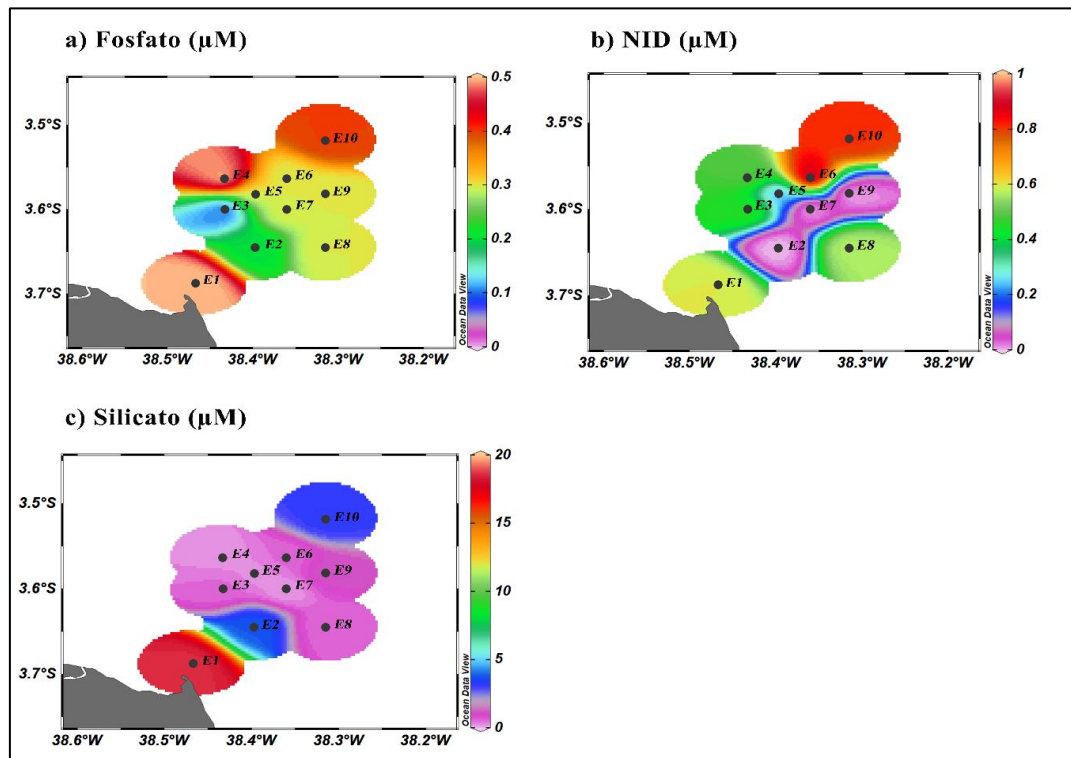


Fonte: Elaborado pela autora.

Assim como feito para a composição, os dados dos nutrientes inorgânicos dissolvidos serão apresentados como seus valores médios resultantes das duas profundidades. As concentrações de fosfato ( $0,33 \pm 0,1 \mu\text{M}$ ), variaram de 0,13 a  $0,49 \mu\text{M}$  e tiveram as maiores concentrações nas estações E1 ( $0,49 \mu\text{M}$ ), E4 ( $0,45 \mu\text{M}$ ) e E10 ( $0,41 \mu\text{M}$ ) situadas, respectivamente, próximo a costa, na área dos recifes (contorno oeste) e mais distante da costa (Figura 9a).

Assim como para o fosfato, as concentrações de NID ( $0,41 \pm 0,3 \mu\text{M}$ ) foram baixas e variaram de  $\leq 0,1$  (limite de detecção) a  $0,92 \mu\text{M}$  (Figura 9b). As maiores concentrações para esse nutriente foram obtidas nas estações E6 =  $0,92 \mu\text{M}$ , E10 =  $0,81 \mu\text{M}$  e E1 =  $0,60 \mu\text{M}$ , enquanto as estações E2, E7 e E9 as concentrações foram menores que o limite de detecção. Para o silicato (Figura 9c) a média obtida foi de  $2,94 \pm 5,6 \mu\text{M}$  e variação de 0,23 a  $18,6 \mu\text{M}$ , sendo observado que as maiores concentrações foram nas estações E1 (E1= $18,6 \mu\text{M}$ ), E2 ( $3,83 \mu\text{M}$ ) e E10 ( $3,16 \mu\text{M}$ ), com nítido destaque para a estação mais costeira. Pelo exposto, é possível perceber que a estação mais próxima da costa (E1) e a mais distante da (E10) estiveram entre as estações com maiores concentrações de cada um dos três nutrientes medidos.

Figura 9 – Distribuições espaciais das concentrações de fosfato (a), NID (b) e silicato (c) na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste (Ceará, Nordeste do Brasil).



Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4.4 TRIX (Índice Trófico)

O índice TRIX médio obtido foi de 2,5, estando este valor dentro da classificação de águas oligotróficas (Tabela 5) que é caracterizada por baixa produtividade. Tanto as amostras E3s, E4s, E5s e E6s que se encontram dentro do ambiente recifal como a E10s (Tabela 7) situada no entorno desse ambiente se enquadraram na classificação oligotrófica.

Tabela 7 — Índice TRIX de algumas amostras da plataforma continental do Atlântico Equatorial (Ceará, Nordeste do Brasil).

Amostra	TRIX
E3s	2,6
E4s	2,7
E5s	2,1
E6s	2,2
E10s	2,6

Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4.5 Associação da comunidade fitoplanctônica as variáveis ambientais

Os dados de salinidade e temperatura por apresentarem variações pequenas não foram utilizados na análise de correlação de Spearman (Tabela 8), pois não teriam grandes implicações na distribuição da comunidade fitoplanctônica. A baixa influência desses dados na distribuição e diversidade da comunidade fitoplânctonica dadas as pequenas variações também foram relatadas para a porção da plataforma continental do Atlântico Sudoeste Tropical pertencente ao estado de Pernambuco (KOENING; MACÊDO, 1999). Por motivos já relatados a análise foi realizada com os dados da média de cada estação.

Tanto haptófitas ( $r_s = 0,77$ ) como diatomáceas tipo-1 ( $r_s = 0,73$ ) tiveram correlações positivas com as concentrações de clorofila *a* total, isto deve-se ao fato de nas estações com maiores concentrações de clorofila *a* total, haptófitas e/ou diatomáceas tipo-1 foram os grupos que mais contribuíram para a biomassa. Observou-se também que as haptófitas se correlacionaram negativamente com as concentrações de fosfato ( $r_s = -0,64$ ). Entre as diatomáceas, o tipo-2 se correlacionou negativamente as concentrações de silicato ( $r_s = -0,66$ ) e de NID ( $r_s = -0,72$ ), enquanto para o tipo-1 não foram observadas associações com as concentrações dos nutrientes.

Tabela 8 — Matriz de correlação de Spearman realizada com as variáveis: transparência da água (transp.), fosfato inorgânico dissolvido ([P-PO4<sup>3-</sup>]), silicato ([SI]), nitrogênio inorgânico dissolvido ([NID]), TChl a (clorofila a total) e contribuições absolutas de biomassa dos flagelados verdes (flag.verdes), dinoflagelados (dino), criptófitas (crip.), haptófitas (hap.), diatomáceas tipo-1 (diato 1), diatomáceas tipo-2 (diato 2), *Synechococcus* (Syne) e *Prochlorococcus* (Prochlo). Em negrito os coeficientes de Spearman ( $r_s$ ) das correlações estatisticamente significativas (valor de  $p < 0,05$ ).

	Transp.	[P-PO4 <sup>3-</sup> ]	[SI]	[NID]	TChl a	Flag.verdes	Dino	Crip.	Hap.	Diato 1	Diato 2	Syne	Prochlo
<b>Transp.</b>													
<b>[P-PO4<sup>3-</sup>]</b>	-0,27												
[Si]	-0,26	0,09											
<b>NID</b>	-0,74	0,45	0,18										
<b>TChl a</b>	0,15	-0,38	-0,33	-0,56									
<b>Flag.verdes</b>	0,59	-0,46	-0,44	-0,49	-0,10								
<b>Dino</b>	-0,06	-0,22	0,61	-0,33	0,25	0,00							
<b>Crip.</b>	0,01	0,00	-0,52	0,03	0,53	-0,20	-0,38						
<b>Hap.</b>	0,08	<b>-0,64</b>	0,19	-0,51	<b>0,77</b>	-0,14	0,55	0,08					
<b>Diato 1</b>	-0,23	-0,05	-0,17	-0,18	<b>0,73</b>	-0,36	0,14	0,51	0,43				
<b>Diato 2</b>	0,63	-0,16	<b>-0,66</b>	<b>-0,72</b>	0,41	0,58	-0,11	0,00	0,12	0,00			
<b>Syne</b>	-0,61	0,58	0,38	0,33	0,07	-0,80	0,11	0,04	-0,01	0,58	-0,43		
<b>Prochlo</b>	-0,52	0,08	0,37	0,15	0,27	-0,37	0,57	0,03	0,42	0,15	-0,29	0,31	

Fonte: Elaborado pela autora.

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1 Produção primária na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste

A baixa biomassa ( $0,36 \pm 0,15 \text{ mg.m}^{-3}$ ) encontrada na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste na porção pertencente ao Ceará é consistente com dados prévios que classificam, a plataforma da região Nordeste do Brasil como um sistema marinho oligotrófico (EKAU; KNOPPERS, 1999). Na coluna d'água do recife de coral da Ilha de Sesoko, Okinawa, Japão, as concentrações de clorofila *a* e nutrientes foram baixas quase o ano todo, e de acordo com os pesquisadores esses resultados são típicos de ambientes recifais (TADA *et al.*, 2003).

Concentração média de clorofila *a* total inferior a encontrada na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste, foi obtida nos recifes de coral da plataforma interna (Chl *a* total média =  $0,1 \text{ mg.m}^{-3}$ ; 15 a 20 m de profundidade) de Abrolhos (Bahia, leste do Brasil) (KNOPPERS *et al.*, 1999). Porém, com base ainda nesta pesquisa realizada em Abrolhos, a concentração média de NID da plataforma interna foi bem superior ( $3,9 \pm 1,7 \mu\text{m}$ ) a encontrada na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste, possivelmente, a menor concentração de fosfato em relação a de NID razão molar =  $29,7 \pm 15$ ) nesta porção da plataforma de Abrolhos (KNOPPERS *et al.*, 1999), resultou em menor biomassa. Cabe salientar que, diferentemente, da plataforma continental Equatorial Sudoeste, a borda da plataforma da região de Abrolhos sofre influência de ressurgência (BASTOS *et al.*, 2018), podendo ser este processo a causa da maior concentração de NID. Valores superiores de biomassa foram encontrados nas estações mais próximas da costa na plataforma continental do Atlântico Sudoeste Subtropical ( $> 0,7 \text{ mg.m}^{-3}$ ) considerada como de alta produção primária (ISLABÃO *et al.*, 2017).

Apesar dos valores de biomassa terem sido baixos na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste, foi perceptível, valores relativamente maiores nas duas profundidades de quatro estações, sendo três delas (E5, E6 e E7) situadas na porção onde estão concentrados um maior número de estruturas recifais (Figura 1), o que sugere a influência de nutrientes provenientes do metabolismo dos recifes tropicais. Quanto à estação E9, dado o fato do fluxo da corrente de água superficial na plataforma ser direcionada para noroeste (DIAS *et al.*, 2011; DIAS *et al.*, 2018), a possibilidade de interferência de metabólitos produzidos naquela região de recifes na referida estação, é pequena, apesar de existir um transporte perpendicular à costa devido às marés. Contudo, uma possível explicação para os valores de biomassa encontrados na subsuperfície e 2ª profundidade da estação E9, seria a possível existência de

recifes na área de entorno da unidade de conservação marinha, isso porque a plataforma em questão é reconhecidamente pouco mapeada (SOARES *et al.*, 2017) e as publicações sobre os recifes de arenito, são restritas à unidade de conservação (Figura 1) (SOARES *et al.*, 2017, 2019), necessitando de mapeamento detalhados no seu entorno para identificar a existência de recifes; o que é provável devido o ambiente propício. Sobre a conexão entre a comunidade bentônica dos recifes e os organismos da coluna d'água acima deste ambiente, existe relato da ocorrência de exportação de nutrientes (mais especificamente de alguns compostos nitrogenados) pela comunidade bentônica para a coluna d'água (JOHANNES *et al.*, 1972), apesar de que em ambientes recifais seja considerado a existência de uma forte reciclagem de nutrientes entre as zooxantelas e os hospedeiros de coral (DAVIS *et al.*, 2009).

Os valores do índice TRIX médio (2,5) e das estações no entorno ou na coluna d'água do ambiente recifal (todos <2,7), asseguraram a condição oligotrófica da plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste. Valores superiores a este resultado, foram obtidos por Bordin *et al.*, (2019) nas massas d'água da plataforma continental interna e média do Atlântico Sudoeste Tropical (Santa Catarina, Sudeste do Brasil). De acordo com esses pesquisadores, a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) possui a maior capacidade para produção primária, (TRIX =  $7,98 \pm 0,44$ ; eutrófica), seguida da Água Subtropical de Plataforma de inverno ( $6,60 \pm 0,61$ ; eutrófica), da Água da Pluma do Prata (APP) ( $5,94 \pm 1,03$ ; mesotrófica) e da Água Subtropical de Plataforma (ASTP) ( $5,59 \pm 1,34$ , mesotrófica) de verão.

## 5.2 Estrutura da comunidade fitoplanctônica

As diatomáceas seguidas das picocianobactérias e, posteriormente, haptófitas dominaram a região da plataforma. A dominância de diatomáceas em plataformas continentais é considerada comum (SIMON *et al.*, 2009) devido a maior disponibilidade de nutrientes e turbulência (MARGALEF, 1978; RODRIGUES *et al.*, 2014; ISLABÃO *et al.*, 2017) em comparação com as condições encontradas nas regiões oceânicas.

Por exemplo, no sistema recifal de Abrolhos (Leste do Brasil) foi sugerido que a presença de diatomáceas próximo à costa (cerca de 53%) e na plataforma (cerca de 30%), em contraste, com a estação oceânica, ocorreu devido a fatores como a maior turbulência em água rasas que foi favorável à manutenção desse grupo na coluna d'água (KNOPPERS *et al.*, 1999). A respeito disso, pesquisas relatam que a turbulência é um processo físico requerido para manter as células não móveis e relativamente pesadas das diatomáceas (devido a parede celular

de sílica) por mais tempo na zona eufótica, sendo importante na competição para a assimilação de luz e nutrientes (REYNOLDS, 2006; VILLAMA *et al.*, 2019). Além de manter as diatomáceas suspensas, as próprias condições de mistura encontradas na coluna d'água resultantes da turbulência podem suprir a zona eufótica de nutrientes devido a ressuspensão e mistura com o material de fundo (MARGALEF, 1978; CULLEN *et al.*, 2002; GLIBERT *et al.*, 2016; VILLAMA *et al.*, 2019).

Com base no exposto acima, o regime de mesomaré e os fortes ventos alísios (estes, principalmente, encontrados durante o segundo semestre, período no qual a pesquisa foi realizada), que são alguns dos fatores que tornam a plataforma continental do Atlântico Sudoeste Equatorial altamente energética (VITAL *et al.*, 2008; DIAS *et al.*, 2013), são provavelmente, as forçantes físicas importantes para manter as diatomáceas por mais tempo na coluna d'água da referida plataforma e assim serem bem-sucedidas na competição por nutrientes e luz.

As diatomáceas do gênero *Pseudo-nitzschia* foram as que mais contribuíram para biomassa de diatomáceas tipo-2, porém a concordância entre os dados de microscopia e HPLC-CHEMTAX não foi alta ( $r^2 = 0,31$ ) (Figura 7). Diferentemente, deste resultado algumas pesquisas (CARRETO *et al.*, 2003; BRITO *et al.*, 2015; MENDES *et al.*, 2017; LIMA *et al.*, 2019; LEE *et al.*, 2020) encontraram, no geral, altas correlações entre os dados dessas técnicas, principalmente, para o grupo de fitoplâncton de tamanhos maiores ( $>20\mu\text{m}$ ). Concordâncias baixas entre esses dados podem ser explicadas por vários fatores tais como: a contagem de células mortas (sem pigmentos) por microscopia que não são quantificadas em termos de pigmentos pelo HPLC (BRITO *et al.*, 2015) e/ou a variação no tamanho das células que pode afetar a quantificação do conteúdo pigmentar (LEE *et al.*, 2020). Pan *et al.*, (2020) ao não encontrar correlação significativa entre a abundância de células de diatomáceas e a contribuição desse grupo para a clorofila *a* total, sugeriu que estudos futuros na sua região de estudo devem converter a abundância de células em biovolume ou biomassa de carbono para só então comparar estes com as estimativas de pigmentos. Ainda de acordo com os citados pesquisadores a abundância celular nem sempre é um bom *proxy* para representar a biomassa.

O gênero *Pseudo-nitzschia* é composto por diatomáceas penadas marinhas que atualmente compreende 52 espécies (além da variedade *P. cuspidata* var. *manzanillensis*), das quais 26 são potencialmente produtoras de ácido domóico (BATES *et al.*, 2018). A maior parte dessas espécies toxigênicas são consideradas cosmopolitas (HASLE, 2002).



As *Pseudo-nitzschia* spp. (1%) junto com 3 gêneros de dinoflagelados (*Alexandrium* (49%), *Dinophysis* (30%), *Gymnodinium* (20%)) compõem o grupo dos principais gêneros relacionados a eventos tóxicos na América do Sul com base nos registros do HAEDAT (*Harmful Algae Event Database*) (SUNESSEN *et al.*, 2020). Segundo dados do banco OBIS (*Ocean Biogeographic Information System*) das 15 espécies de *Pseudo-nitzschia* toxigênicas existentes na América do Sul, 14 ocorrem no Brasil (SUNESSEN *et al.*, 2020). Na plataforma Flora do Brasil 2020, a maior parte dos registros de espécies de *Pseudo-nitzschia* spp. são restritos as regiões Sul e Sudeste do País, e para o Nordeste foram registradas apenas duas espécies (*Pseudo-nitzschia pungens* (Grunow ex Cleve) Hasle e *Pseudo-nitzschia seriata* (Cleve) H.Peragallo). Este baixo número para a região Nordeste pode ser resultante da baixa notificação. Por fim, considerando que a abundância de *Rhizosolenia* spp. foi rara, a partir daqui a biomassa diatomáceas tipo-2 será tida como biomassa de *Pseudo-nitzschia*.

No que se refere às cianobactérias, os gêneros *Synechococcus* e *Prochlorococcus* são componentes do picofitoplâncton, que é uma fração considerada componente importante da produção primária em oceanos oligotróficos tropicais devido a sua alta eficiência em assimilar nutrientes em baixas concentrações (AGAWIN *et al.*, 2000). Nesta plataforma continental Equatorial Sudoeste, as concentrações de *Synechococcus* foram maiores que às encontradas para *Prochlorococcus* em todas as estações. Estes resultados de HPLC-CHEMTAX são consistentes com os encontrados por Saes (2018) em pesquisa na referida plataforma por meio de citometria de fluxo, em que as densidades de *Synechococcus* ( $7,93 \times 10^6$  células L<sup>-1</sup>) também superaram as de *Prochlorococcus* ( $2,76 \times 10^6$  células L<sup>-1</sup>).

Adicionalmente, um estudo que analisou os padrões de distribuição da estrutura da comunidade microbiana, incluindo as cianobactérias, ao longo de um transecto latitudinal desde o mar Mediterrâneo até Atlântico Sudoeste Tropical (Nordeste do Brasil), verificaram que embora *Prochlorococcus* tenha sido mais frequente no Oceano Atlântico, em águas costeiras do Brasil, *Synechococcus* além SAR11, uma bactéria heterotrófica, dominaram a comunidade microbiana (ZHOU *et al.* 2018).

No que tange ao grupo das haptófitas, este apresenta ocorrência mundial e pode ser encontrado tanto em ambientes costeiros como oceânicos (EIKREM *et al.*, 2017). O referido grupo é subdividido nas classes Pavlovophyceae e Coccolithophyceae (Prymnesiophyceae) sendo esta última composta por espécies calcificantes, esta última classe como já relatado é componente reconhecidamente importante no ciclo global de carbonato (EIKREM *et al.*, 2017). Dada esta importância biogeoquímica, os coccolitoforídeos são amplamente estudados (por

exemplo, IGLESIAS-RODRÍGUEZ *et al.*, 2002; BAUMANN *et al.*, 2005; DE VARGAS *et al.*, 2007). Diferentemente de, De Vargas *et al.*, (2007) que afirma que em regiões de plataformas continentais a biodiversidade de cocolitoforídeos é menor em comparação a região oceânica, Godrijan *et al.*, (2018) encontrou alta biodiversidade (52 táxons) desse grupo funcional na região costeira do norte do Mar Adriático e alertou para a necessidade de mais pesquisas acerca deste grupo em águas costeiras. Mesmo não tendo sido quantificada a biomassa separadamente de cada uma das duas classes de haptófitas, sugere-se que assim como as algas calcárias verdes e vermelhas, moluscos e foraminíferos que contribuem com a deposição de carbonato na plataforma continental do Atlântico Sudoeste Equatorial (XIMENES NETO *et al.*, 2018), os cocolitoforídeos devem estar contribuindo mesmo que em menor proporção com a formação desse sedimento na plataforma em questão.

Ainda quanto os cocolitoforídeos é importante salientar que várias pesquisas abordaram os impactos nas taxas de crescimento, produção primária e calcificação dessa classe, em resposta às crescentes alterações na química do sistema carbonático dos oceanos, entre elas o aumento do dióxido de carbono na água e a consequente diminuição do pH que configuram o processo de acidificação dos oceanos (por exemplo, BACH *et al.*, 2011; BACH *et al.*, 2012; BACH *et al.*, 2013; BACH *et al.*, 2015). Na plataforma continental Equatorial Sudoeste, em estudo resultante do mesmo embarque que a presente pesquisa, Cotovicz Junior *et al.*, (2020) identificaram a ocorrência de supersaturação de CO<sub>2</sub> na água do mar da região dominada por recifes de arenito em relação a atmosfera, tal aumento foi atribuído a atividade de organismos calcificadores. Ainda de acordo com esses pesquisadores, o processo de calcificação com consequente aumento de CO<sub>2</sub> influenciou fortemente a química do sistema carbonático, o que resultou, por exemplo, em níveis altos de fugacidade do CO<sub>2</sub> (fCO<sub>2</sub>) da água do mar (475 ±28 µatm) e valores baixos de pH na escala total (pH<sub>T</sub>) (7,98± 0,008), carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> =217±5 µmol kg<sup>-1</sup>) e estado de saturação da aragonita (Ω<sub>ara</sub> = 3,49±0,07).

Experimentos realizados em culturas de cocolitoforídeos com a espécie *Emiliana huxleyi* mostraram que em valores altos de fCO<sub>2</sub> (592 e 986 uatm) e pH variável, houve um declínio das taxas de crescimento, de carbono orgânico particulado e na fotossíntese (BACH *et al.*, 2011). Visto isso, infere-se que as alterações na química do carbonato observadas na plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste por Cotovicz Junior *et al.*, (2020) que tendem a aumentar com o crescente processo de acidificação dos oceanos (SOARES *et al.*, 2019) devem trazer danos futuros para os cocolitoforídeos. Porém salienta-se que esta questão, é reconhecidamente contraditória (ARUNDHATHY *et al.*, 2021), por exemplo, Lohbeck *et al.*,

(2012) em experimentos de laboratório observaram a adaptação evolutiva de algumas culturas de cocolitoforídeos frente à acidificação.

Os grupos flagelados verdes (5,2%), dinoflagelados (2,3%) e criptófitas (1,2%) também estiveram presentes na área de estudo, porém suas contribuições para a clorofila *a* total foram baixas. As baixas contribuições de dinoflagelados durante o período amostrado, podem ser explicadas pela mandala de Margalef (1998) que separa os grupos funcionais, diatomáceas e dinoflagelados em dois eixos. De acordo com o autor, diferentemente, das diatomáceas que necessitam da turbulência para se manterem na coluna d'água e assim assimilarem nutrientes da zona eufótica, os dinoflagelados requerem menos nutrientes e são adaptadas à ambientes de baixa turbulência, uma vez que a presença de flagelos é uma estratégia adaptativa para mantê-los na zona eufótica. Em Abrolhos tanto nos transectos costeiro e da plataforma, bem como na estação oceânica a presença de dinoflagelados autotróficos não foram identificadas (KNOPPERS *et al.*, 1999).

### 5.3 A influência das variáveis ambientais na composição

Dada as diferenças mínimas de temperatura e salinidade entre as estações, esses parâmetros não são considerados relevantes para explicar a alta variação espacial das contribuições relativas, em especial, dos grupos: diatomáceas, picocianobactérias e haptófitas para a biomassa. Quanto aos três nutrientes inorgânicos dissolvidos, a estação mais costeira (E1) e a mais distante da costa (E10), estiveram entre as estações com maiores concentrações.

A respeito das correlações negativas significativas encontradas entre a biomassa do gênero *Pseudo-nitzschia* e as concentrações de silicato e também de NID, duas condições foram observadas. Enquanto, por exemplo, nas estações E4, E7 e E9, valores maiores de biomassas absolutas desse gênero resultaram em menores concentrações desses dois nutrientes, observou-se que nas estações E1 e E10, havia maiores disponibilidades desses nutrientes e menores biomassas de *Pseudo-nitzschia*. É sugerido que baixas concentrações de nutrientes inorgânicos, em contraste, com altas biomassas de fitoplâncton, ocorrem devido ao requerimento de nutrientes para o crescimento desses organismos (DORTCHL *et al.*, 1997). Desta forma, como nas estações E1 e E10 havia menores biomassas de *Pseudo-nitzschia* o consumo de nutrientes foi menor, resultando em maiores concentrações.

Correlações negativas significativas entre abundância de *Pseudo-nitzschia* e concentrações de sílica e nitrogênio, foram encontradas em pesquisas realizadas no norte do

Golfo do México (DORTCH *et al.*, 1997) e no sul da Califórnia Bight (ANDERSON *et al.*, 2006; SCHNETZER *et al.*, 2007).

Na lagoa costeira Bizerte, no Sudoeste do Mediterrâneo (Tunísia), o tipo de correlação entre a abundância de *Pseudo-nitzschia* e esses dois nutrientes variou entre as seis morfoespécies encontradas e também com o tipo de composto nitrogenado (nitrato e nitrito) (SAHRAOUI *et al.*, 2012). Por exemplo, a espécie *P. delicatissima* foi correlacionada negativamente com o nitrato e sílica, já *P. brasiliiana* se correlacionou positivamente com nitrato e sílica e negativamente com nitrito. Quanto à importância do nitrogênio para o gênero *Pseudo-nitzschia* este nutriente é requerido para o crescimento e síntese de ácido domóico (LELONG *et al.*, 2012). A respeito dessa importância, várias pesquisas investigaram os efeitos de diferentes fontes de nitrogênio (inorgânicas e orgânicas) sobre a taxa de crescimento e também produção de ácido domóico (por exemplo, HOWARD *et al.*, 2007; CALU *et al.*, 2009; THESSSEN *et al.*, 2009; SAHRAOUI *et al.*, 2012; AURO; COCHLAN, 2013; MARTIN-JÉZÉQUEL *et al.*, 2015). Quanto a sílica, concentrações limitantes são tidas como ótimas para a produção de ácido domóico (BATES *et al.*, 1998).

Ainda no que se refere as estações E1 e E10, é possível observar que tanto a estação mais costeira (E1) como a mais distante da costa (E10) tiveram notáveis contribuições de *Synechococcus*. Estas estações, juntamente, com a estação E8 compuseram o grupo II-a que se destacou pela notável contribuição relativa de *Synechococcus*, porém a análise de Spearman não mostrou nenhuma correlação significativa com fatores ambientais que explicassem a maior contribuição desse gênero nestas estações.

Como já relatado, *Prochlorococcus* apresentou baixa biomassa na plataforma em questão e em todas as estações foi sempre inferior a biomassa de *Synechococcus*, no entanto, observou-se que a maior contribuição relativa daquele gênero se deu na estação mais distante da costa. O mesmo resultado já havia relatado nesta plataforma, quando foi encontrada maior abundância relativa de *Prochlorococcus* em amostras insulares, por tanto mais distante da costa (SAES, 2018). Os resultados da presente pesquisa e de Saes (2018) são condizentes com pesquisas realizadas em outras regiões (KNOPPERS *et al.*, 1999; RODRIGUES *et al.*, 2014). Sobre este gradiente, é relatado que *Prochlorococcus* é mais abundante em águas oceânicas oligotróficas, enquanto *Synechococcus* apresenta ocorrência em todos os ambientes marinhos, desde as águas costeiras às oceânicas, porém são mais abundantes em águas com maiores disponibilidade de nutrientes, como é o caso da costa (PARTENSKY *et al.*, 1999).

Quanto ao grupo haptófitas, maiores biomassas absolutas foram encontradas em estações com relativamente menores concentrações de fosfato, por exemplo, em E2, E3 E5, sendo as duas primeiras componentes do grupo II-b (grupo caracterizado pelas maiores contribuições relativas de haptófitas). A respeito disso, o cocolitoforídeo, *Emiliana huxleyi*, que é bem representativo desse grupo de microalgas e é considerado dominante na zona fótica superior de águas costeiras e oceânicas de várias regiões, entre elas o Atlântico equatorial (EIKREM *et al.*, 2017), possui melhor desempenho em condições limitantes de fosfato que outras microalgas, devido sua alta afinidade em assimilar fosfato inorgânico e a presença de dois tipos diferentes da enzima fosfatase alcalina (RIEGMAN *et al.*, 2001). Salienta-se que os cocolitoforídeos são também bem-sucedidos em baixas concentrações de nitrogênio (nitrato), uma vez que a taxa máxima de absorção ( $V_{m\acute{a}x}$ ) e constante de meia saturação para absorção (K) são baixas para o referido nutriente (LITCHMAN *et al.*, 2007), desta forma essas microalgas podem ser bem-sucedidas em águas oligotróficas como é o caso da plataforma continental do Atlântico Equatorial (Ceará, Nordeste do Brasil).

## 6 CONCLUSÕES

Os dados de biomassa fitoplanctônica e do índice TRIX reforçam que a plataforma continental Equatorial Sudoeste adjacente ao Ceará se trata de um sistema oligotrófico. Mesmo ainda pertencente ao status de sistema oligotrófico, algumas regiões próximas a estruturas recifais apresentam concentrações maiores de biomassa, levando a crer que nutrientes liberados pela comunidade bentônica (como esponjas e corais) para a coluna d'água são reutilizados pela comunidade fitoplanctônica. Essa hipótese inédita para a região de estudo necessitando assim de investigações futuras.

Apesar da homogeneidade espacial dos dados de salinidade e temperatura, as contribuições relativas dos principais grupos (diatomáceas, picocianobactérias e haptófitas) variam notavelmente sendo que, em alguns casos, as concentrações de nutrientes explicam essa heterogeneidade espacial. No que se refere às diatomáceas, além de fatores nutricionais sugere-se que as condições oceanográficas altamente energéticas são favoráveis, uma vez que mantêm esses organismos sem motilidade por mais tempo na coluna d'água.

Sendo este o primeiro estudo na região que contempla todas as frações de tamanho do fitoplâncton em uma única pesquisa, pôde-se revelar que os grupos de frações menores (pico e nano) predominam na plataforma e dominam a produção primária na margem equatorial semiárida. Salienta-se que a contribuição dessas frações deve ser ainda maior considerando que as diatomáceas que são geralmente tidas como pertencentes ao microfitoplâncton, podem também atingir frações nano e até mesmo pico, sendo tais frações de diatomáceas menosprezados em estudos no mundo todo (LEBLANC *et al.*, 2018). Desta forma sugere-se que em estudos futuros com abordagem HPLC-CHEMTAX na região, sejam realizadas análises de clorofila *a* total fracionadas para uma estimativa precisa da contribuição de cada fração para a biomassa.

Quanto à notável biomassa do gênero *Pseudo-nitzschia*, cabe salientar que, dados sobre este gênero de importância ecológica devido ao potencial tóxico, são apresentados pela primeira vez na plataforma continental Equatorial Sudoeste (Ceará, NE do Brasil). Ainda quanto a esse gênero, a microscopia eletrônica é uma ferramenta requerida para a identificação de espécies potencialmente tóxicas (FERNANDES; BRANDINI, 2010; BATES *et al.*, 2018). No caso da existência de espécies crípticas e pseudo-crípticas, são requeridos além de pesquisa taxonômica, análises moleculares (LASSUS *et al.*, 2016). Cabe salientar, que a identificação da presença de *Pseudo-nitzschia* só foi possível devido análises microscópicas, o que reforça a

importância de se associar dados microscopia óptica com o método de HPLC-CHEMTAX para algumas espécies e gêneros como já afirmado por Brito *et al.*, (2015). Para uma melhor correlação entre os dados de HPLC-CHEMTAX e microscopia na plataforma continental do Atlântico Sudoeste Equatorial, sugere-se o uso de dados de biovolume, ao invés de abundância celular.

Por fim, a concordância entre os dados de HPLC-CHEMTAX e os resultantes de pesquisa anterior com citometria de fluxo, que no caso foi usada para quantificar as picocianobactérias (SAES *et al.*, 2018), mostram que aquela poderosa abordagem trouxe dados confiáveis e inéditos para a plataforma continental do Atlântico Equatorial Sudoeste.

## REFERÊNCIAS

- AGAWIN, N. S. R.; DUARTE, C. M.; AGUSTI, S. Nutrient and temperature control of the contribution of picoplankton to phytoplankton biomass and production. **Limnol. Oceanogr.** v. 45, n. 3, p. 591–600, 2000. doi: 10.4319/lo.2000.45.3.0591
- AIKEN, J.; PRADHAN, Y.; BARLOW, R.; LAVENDER, S.; POULTON, A.; HOLLIGAN, P.; HARDMAN-MOUNTFORD, N. 2009. Phytoplankton pigments and functional types in the Atlantic Ocean: a decadal assessment, 1995–2005. **Deep-Sea Res. II**, v. 56, n. 15, p. 899–917, 2009. doi: 10.1016/j.dsr2.2008.09.017
- AMINOT, A.; CHAUSSEPIED, M. **Manuel des analyses chimiques en Milieu Marin.** Centre National pour l'Exploration des Océans, Brest, 1983.
- ANDERSON, C. R.; BRZEZINSKI, M. A.; WASHBURN, L.; KUDELA, R. Circulation and environmental conditions during a toxigenic *Pseudo-nitzschia australis* bloom in the Santa Barbara Channel, California. **Mar Ecol Prog Ser**, v. 327, p. 119–133, 2006. doi:10.3354/meps327119
- ARAUJO, M. L. V.; MENDES, C. R. B.; TAVANO, V. M.; GARCIA, C. A. E.; BARINGER, M. O. N. Contrasting patterns of phytoplankton pigments and chemotaxonomic groups along 30°S in the subtropical South Atlantic Ocean. **Deep-Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap**, v. 120, p. 112–121, 2017. doi: 10.1016/j.dsr.2016.12.004
- ARUNDHATHY, M.; JYOTHIBABU, R.; SANTHIKRISHNAN, S.; ALBIN, K. J.; PARTHASARATHI, S.; RASHID, C. P. Coccolithophores: an environmentally significant and understudied phytoplankton group in the Indian Ocean. **Environ Monit Assess**, v. 193, n. 144, p. 1–14, 2021. doi:10.1007/s10661-020-08794-1
- AURO, M. E.; COCHLAN, W. P. Nitrogen utilization and toxin production by two diatoms of the *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* complex: *P. cuspidata* and *P. fryxelliana*. **J. Phycol.**, v. 49, p. 156–169, 2013. doi: 10.1111/jpy.12033
- BACH, L. T.; RIEBESELL, U.; GUTOWSKA, M. A.; FEDERWISCH, L.; SCHULZ, K. G. A unifying concept of coccolithophore sensitivity to changing carbonate chemistry embedded in an ecological framework. **Progress in Oceanography**, v. 135, p. 125–138, 2015. doi:10.1016/j.pocean.2015.04.012
- BACH, L. T.; MACKINDER, L. C. M.; SCHULZ, K.G.; WHEELER, G.; SCHROEDER, D. C.; BROWNLEE, C.; RIEBESELL, U. Dissecting the impact of CO<sub>2</sub> and pH on the mechanisms of photosynthesis and calcification in the coccolithophore *Emiliana huxleyi*. **New Phytologist**, v. 199, p. 121–134, 2013. doi:10.1111/nph.12225
- BACH, L.T.; BAUKE, C.; MEIER, K. J. S.; RIEBESELL, U.; SCHULZ, K. G. Influence of changing carbonate chemistry on morphology and weight of coccoliths formed by *Emiliana huxleyi*. **Biogeosciences**, v. 9, p. 3449–3463, 2012. doi.org/10.5194/bg-9-3449-2012



- BACH, L. T.; RIEBESELL, U.; SCHULZ, K. G. Distinguishing between the effects of ocean acidification and ocean carbonation in the coccolithophore *Emiliania huxleyi*. **Limnology and Oceanography**, v. 56, p. 2040–2050, 2011. doi: org/ 10.4319/lo.2011.56.6.2040
- BATES, S. S.; GARRISON, D. L.; HORNER, R. A. Bloom dynamics and physiology of domoic-acid-producing *Pseudo-nitzschia* species. In: ANDERSON, D.M.; CEMBELLA, A.D.; HALLEGRAEFF, G. M. [eds.]. **Physiological ecology of harmful algal blooms**, Springer-Verlag, Heidelberg, p. 267-292, 1998.
- BATES, S. S.; HUBBARD, K. A.; LUNDHOLM, N.; MONTRESOR, M.; LEAW, C. P. *Pseudo-nitzschia*, *Nitzschia*, and domoic acid: new research since 2011. **Harmful Algae**, v. 79, p. 3–43, 2018. doi: 10.1016/j.hal.2018.06.001
- BAUMANN, K-H.; ANDRULEIT, H.; BÖCKEL, B.; GEISEN, M.; KINSEL, H. The significance of extant coccolithophores as indicators of ocean water masses, surface water temperature, and paleoproductivity: a review. **Paläontologische Zeitschrift**, v. 79, p. 93-112, 2005. doi.org/10.1007/BF03021756
- BARROSO, H. S.; BECKER, H.; MELO, V. M. M. Influence of river discharge on phytoplankton structure and nutrient concentrations in four tropical semiarid estuaries. **Braz. j. oceanogr.**, v. 64, n. 1, p. 37-48, 2016. doi:10.1590/S1679-87592016101406401
- BASTOS, A. C.; MOURA, R. L.; MORAES, F. C.; VIEIRA, L. S.; BRAGA, J. C.; RAMALHO, L. V.; AMADO-FILHO, G. M.; MAGDALENA, U. R.; WEBSTER, J. M. Bryozoans are major modern builders of South Atlantic oddly shaped reefs. **Scientific Reports**, v. 8:9638, p. 1-11, 2018. doi: 10.1038/s41598-018-27961-6
- BAUMGARTEN, M. G. Z.; ROCHA, J. M. B.; NIENCHESKI, L. F. H. **Manual de análises em oceanografia química**. 1. ed. Editora da Furg: Rio Grande, 1996.
- BORDIN, L. H.; MACHADO, E. C.; CARVALHO, M.; FREIRE, A. S.; FONSECA, A. L.D.O. Nutrient and carbon dynamics under the water mass seasonality on the continental shelf at the South Brazil Bight. **Journal of Marine Systems**, v. 189, p. 22–35, 2019. doi: 10.1016/j.jmarsys.2018.09.006
- BRITO, A. C.; SÁ, C.; MENDES, C. R.; BRAND, T.; DIAS, A. M.; BROTAS, V.; DAVIDSON, K. Structure of late summer phytoplankton community in the Firth of Lorn (Scotland) using microscopy and HPLC-CHEMTAX. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 167, p. 86-101, 2015. doi: 10.1016/j.ecss.2015.07.006
- CAIAFFA, E. European marine information system: EUMARIS. Dipartimento Ambiente. Centro Ricerche Casaccia, Roma. Paper presented at the Inter-Regional Forum of European Conventions Venice, p. 27–28, 1999. Disponível em: <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/20135209>. Acesso: 29.mar.2021.
- CALU, G.; MARTIN-JEZEQUEL, V.; LEFAU, E.; SECHET, V.; LASSUS, P.; WEIGEL, P.; AMZIL, Z. The influence of nitrogen speciation on growth and toxicity of *Pseudo-nitzschia muldisei* and *P. pungens* in batch and continuous cultures. In: **Lassus P (ed), 7th international conference on molluscan shellfish safety**, Nantes France, p 1.7, 2009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/230758617\\_The\\_influence](https://www.researchgate.net/publication/230758617_The_influence)

of\_nitrogen\_speciation\_on\_growth\_and\_toxicity\_of\_Pseudo-nitzschia\_multiseries\_and\_P\_pungens\_in\_batch\_and\_continuous\_cultures. Acesso: 02. abri. 2020.

CARNEIRO, P. B. M.; SÁTIRO, I.; COE, C. M.; MENDONÇA, K. V. Valoração ambiental do Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio, Ceará, Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**, Fortaleza, v. 50, n. 1, p. 25-41, 2017. doi: <https://doi.org/10.32360/acmar.v.50i1>

CARRETO, J. I.; MONTOYA, N. G.; BENAVIDES, H.R.; GUERRERO, R.; CARIGNAN, M.O. Characterization of spring phytoplankton communities in the Río de La Plata maritime front using pigment signatures and cell microscopy. **Marine Biology**, v. 143, p. 1013–1027, 2003. doi:10.1007/s00227-003-1147-z

CARVALHO, A. C. O.; MENDES, C. R. B.; KERR, R.; AZEVEDO, J. L. L.; GALDINO, F.; TAVANO, V. M. The impact of mesoscale eddies on the phytoplankton community in the South Atlantic Ocean: HPLC-CHEMTAX approach. **Mar. Environ. Res.**, v. 144, p. 154–165, 2019. doi: 10.1016/j.marenvres.2018.12.003

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

COTOVICZ JUNIOR, L. C.; CHIELLE, R.; MARINS, R. V. Air-sea CO<sub>2</sub> flux in an equatorial continental shelf dominated by coral reefs (Southwestern Atlantic Ocean). **Continental Shelf Research**, v. 204, p. 1-12, 2020. doi: 10.1016/j.csr.2020.104175

CULLEN, J. J.; FRANKS, P. J. S.; KARL, D. M.; LONGHURST, A. Physical influences on marine ecosystem dynamics. In: ROBINSON, A. R.; MCCARTHY, J. J.; ROTHSCHILD, B.J. (eds.), **The Sea**: Wiley, New York, v. 12, p. 297–335, 2002.

DAVIS, S. E.; LIRMAN, D.; WOZNIAK, J. R. Nitrogen and phosphorus exchange between tropical coastal ecosystems. In: NAGELKERKEN, I. (eds). **Ecological connectivity entre tropical coastal ecosystems**. Springer, Dordrecht, p. 9-43, 2009. doi:10.1007/978-90-481-2406-0\_2.

DE VARGAS, C.; AUBRY, M. P.; PROBERT, I.; YOUNG, J. Origin and evolution of coccolithophores: from coastal hunters to oceanic farmers. In: FALKOWSKI, P. G.; KNOLL, A. H (Editores). **Evolution of primary producers in the sea**. Academic Press, p. 251-281, 2007. Cap.12. doi:10.1016/B978-012370518-1/50013-8

DIAS, F. J. S.; CASTRO, B. M.; LACERDA, L. D. Tidal and low-frequency currents off the Jaguaribe River estuary (4° S, 37° 4' W), northeastern Brazil. **Ocean Dynamics**, v. 68, p. 967–985, 2018. doi:10.1007/s10236-018-1172-6

DIAS, F. J. S.; CASTRO, B. M.; LACERDA, L. D. Continental shelf water masses off the Jaguaribe River (4S), northeastern Brazil. **Continental Shelf Research**, v. 66, p. 123–135, 2013. doi: 10.1016/j.csr.2013.06.005

DIAS, F. J. S.; CASTRO, B. M.; LACERDA, L. D. Circulação na plataforma continental ao largo do estuário do rio Jaguaribe (Ceará - nordeste – Brasil), durante a estação chuvosa de 2009. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA – SOB, 5., 2011, Santos. **Anais [...]** Santos: Iousp, 2011.

DORTCH, Q.; ROBICHAUX, R.; POOL, S.; MILSTED, D.; MIRE, G.; RABALAIS, N. N.; SONIAT, T. M.; FRYXELL, G. A.; TURNER, R. E.; PARSONS, M. L. Abundance and vertical flux of *Pseudo-nitzschia* in the northern Gulf of Mexico. **Mar Ecol Prog Ser**, n. 146, p. 249-264, 1997. doi: 10.3354 / meps146249

EDLER, L.; ELBRÄCHTER, M. The Utermöhl method for quantitative phytoplankton analysis. In: KARLSON, B.; CUSACK, C.; BRESNAN, E. (Editors). **Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis**. Paris, UNESCO, p. 13-20, 2010. Disponível em: [https://repository.oceanbestpractices.org/bitstream/handle/11329/303/WKNCT\\_Handbook\\_ver5May2010\\_2.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.oceanbestpractices.org/bitstream/handle/11329/303/WKNCT_Handbook_ver5May2010_2.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso: 03. abri. 2020.

EIKREM, W.; MEDLIN, L. K.; HENDERIKS, J.; ROKITTA, S.; ROST, B.; PROBERT, I.; THRONDSSEN, J.; EDVARDESEN, B. Haptophyta. In: ARCHIBALD, J. M.; SIMPSON, A. G. B.; SLAMOVITS, C. H. (Eds.). **Handbook of the Protists**. 2. ed. Springer International Publishing, Cham; p. 893–953, 2017. cap. 25. doi: 10.1007/978-3-319-32669-6\_38-2

EKAU, W.; KNOPPERS, B. An introduction to the pelagic system of the Northeast and East Brazilian shelf. **Archive of Fishery and Marine Research**, v. 47, p. 113-132, 1999.

FALKOWSKI, P. G.; BARBER, R. T.; SMETACEK, V. Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary production. **Science**, v. 281, n. 5374, p. 200-206, 1998. doi: 10.1126/science.281.5374.200

FERNANDES, L. F.; BRANDINI, F. P. The potentially toxic diatom *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo in the Paraná and Santa Catarina States, Southern Brazil. Iheringia. **Sér. Bot**, v. 65, n. 1, p. 47–62, 2010. Disponível em: <https://isb.emnuvens.com.br/iheringia/article/view/80>. Acesso: 01. mar. 2021.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, p. 15-26, 2005. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25215/16909>. Acesso: 04. Set. 2020.

FIELD, C. B.; BEHRENFELD, M. J.; RANDERSON, J. T.; FALKOWSKI, P. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. **Science**, v. 281, n. 5374, p. 237-240, 1998. doi:10.1126/science.281.5374.237

FLORA DO BRASIL 2020. **Bacillariophyceae**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB98741>. Acesso em: 14 abr. 2021.

FONSÊCA, V. G.; KLEIN, V. L. M. Estudo sobre a composição do plâncton, no estuário do Rio Jaguaribe (Ceará-Brasil). **Arq. Ciên. Mar**, v. 16, n. 1, p. 1-8, 1976. Disponível em: [http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/1612/1/1976\\_art\\_vgfonseca.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/1612/1/1976_art_vgfonseca.pdf). Acesso: 10.out. 2020.

FRANCO, A. O. R.; SOARES, M. O.; MOREIRA, M. O. P. Diatom accumulations on a tropical meso-tidal beach: Environmental drivers on phytoplankton biomass. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 207, p. 414-421, 2018. doi: 10.1016/j.ecss.2017.07.020

- GIOVANARDI, F., CICERO, A.M., FERRARI, C.R., MAGALETTI, E., ROMANO, E., RINALDI, A. Interrelationships between trophic index (TRIX) and productivity indicators in Italian marine-coastal waters: a tool for water quality evaluation and management. *In*: BREBIA, C.A. (Ed.). **Environment Problems in Coastal Regions IV**. Wit-Press, Southampton, Boston, Greece, p. 380–389, 2002.
- GLIBERT, P. M. Margalef revisited: a new phytoplankton mandala incorporating twelve dimensions, including nutritional physiology. **Harmful Algae**, v. 55, p. 25-30, 2016. doi: 10.1016/j.hal.2016.01.008
- GODRIJAN, J.; YOUNG, J. R.; PFANNKUCHEN, D. M.; PRECALI, R.; PFANNKUCHEN, M. Coastal zones as important habitats of coccolithophores: A study of species diversity, succession, and life-cycle phases. **Limnol. Oceanogr.**, v. 63, p. 1692–1710, 2018. doi: 10.1002/lno.10801
- GONÇALVES-ARAÚJO, R.; SOUZA, M. S. MENDES, C. R. B.; TAVANO, V. M.; POLLERY, R. C.; GARCIA, C. A. E. Brazil-Malvinas confluence: effects of environmental variability on phytoplankton community structure. **Journal of Plankton Research**, v. 34, p. 399–415, 2012. doi:10.1093/plankt/fbs013
- HASLE, G. R. Are most of the domoic acid producing species of the diatom genus *Pseudo-nitzschia* cosmopolites? **Harmful Algae**, v. 1, p. 137–146, 2002. doi:10.1016/S1568-9883(02)00014-8
- HAVSKUM, H.; SCHLUTER, L.; SCHAREK, R.; BERDALET, E.; JACQUET, S. Routine quantification of phytoplankton groups - microscopy or pigment analyses? **Marine Ecology Progress Series**, v. 273, p. 31–42, 2004. doi:10.3354/meps273031
- HIGGINS, H. W.; WRIGHT, S.W.; SCHLUTER, L. Quantitative interpretation of chemotaxonomic pigment data. *In*: ROY, S.; LLEWELLYN, C.; EGELAND, E. S.; JOHNSEN, G. (Eds.), **Phytoplankton pigments: characterization, chemotaxonomy and applications in oceanography**. Cambridge University Press, United Kingdom, 2011. p. 257–313.
- HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. **Past: paleontological statistics software package for education and data analysis**. *Paleontologia Electronica*. 4: 1-9, 2011.
- HOWARD, M. D. A.; COCHLAN, W. P.; LADIZINSKY, N.; KUDELA, R. M. Nitrogenous preference of toxigenic *Pseudo-nitzschia australis* (Bacillariophyceae) from field and laboratory experiments. **Harmful Algae**, v. 6, p. 206–217, 2007. doi:10.1016/j.hal.2006.06.003
- IGLESIAS-RODRÍGUEZ, M. D.; BROWN, C. W.; DONEY, S. C.; DONEY, S. C.; KLEYPAS, D. K.; KOLBER, Z.; KOLBER, Z.; HAYES, P. K.; FALKOWSKI, P. G.; Representing key phytoplankton functional groups in ocean carbon cycle models: Coccolithophorids. **Global biogeochemical cycles**, v. 16, n. 14, p. 1100-1120, 2002. doi:10.1029/2001gb001454.
- ISLABÃO, C. A.; MENDES, C. R. B.; DETONI, A. M. S.; ODEBRECHT, C. Phytoplankton community structure in relation to hydrographic features along a coast-to-offshore transect on

the SW Atlantic Continental Shelf. **Continental Shelf Research**, v. 151, p. 30–39, 2017. doi: 10.1016/j.csr.2017.10.003

JEFFREY, S. W.; WRIGHT, S. W.; ZAPATA, M. Microalgal classes and their signature pigments. *In*: ROY, S., LLEWELLYN, C.A., EGELAND, E.S., JOHNSEN, G. (Eds.), **Phytoplankton pigments: characterization, chemotaxonomy and applications in oceanography**. Cambridge University Press, United Kingdom, p. 3–77, 2011.

JOHANNES, R. E *et al.* The metabolism of some coral reef communities: a team study of nutrient and energy flux at Eniwetok. **BioScience**, v. 22, n. 9, p. 541–543, 1972.

JOHNSEN, G.; LOLINE, M. A.; PETTERSSON, L. H.; PINCKNEY, J.; POZDNYAKOV, D. V.; EGELAND, E. S.; SCHOFIELD, O. M. Optical monitoring of phytoplankton bloom pigment signatures. *In*: ROY, S., LLEWELLYN, C.A., EGELAND, E.S., JOHNSEN, G. (Eds.), **Phytoplankton pigments: characterization, chemotaxonomy and applications in oceanography**. Cambridge University Press, United Kingdom, p. 538–606, cap. 14, 2011.

KÄSE, L.; GEUER, J. K. Phytoplankton Responses to Marine Climate Change – An Introduction. *In*: JUNGBLUT, S.; LIEBICH, V.; BODE, M. (Editors). **YOUMARES 8 – Oceans Across Boundaries: Learning from each other**. Springer, 2018, p.55-72. doi 10.1007/978-3-319-93284-2\_5.

KLEIN, V. L. M. Sobre a composição e abundância relativa do plâncton na plataforma continental de Estado do Ceará. **Arq. Ciênc. Mar.**, v.17, n.1, p. 21-27, 1977. Disponível em: [http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/1631/1/1977\\_art\\_vlmklein.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/1631/1/1977_art_vlmklein.pdf). Acesso em: 04. set. 2020.

KLEIN, V. L. M.; FRANCA, M. A. M. Estudo sobre a produtividade primária de uma estação fundeada no estuário do Rio Curú (Ceará - Brasil), no período de setembro de 1977 a maio de 1978. **Bolm Inst. oceanogr.**, v. 29, n. 2, p. 209-215, 1980. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bioce/a/sVdJ3WdhgSgsQgFzV6gh3Cx/?format=pdf&lang=pt>. Acesso: 21. set. 2020.

KLEIN, V. L. M.; MOREIRA, I. C. P. Algumas observações sobre o plâncton da região costeira de Paracurú (Ceará, Brasil). **Arq. Ciênc. Mar.**, v.17, n. 2, p.127-135, 1977. doi: 10.32360/acmar.v17i2.31681

KNOPPERS, B.; MEYERHÖFER, M.; MARONE, E.; DUTZ, J.; LOPES, R.; CAMARGO, R. Compartments of the pelagic system and material exchange at the Abrolhos Bank coral reefs, Brazil. **Archive of Fishery and Marine Research**, v. 47, p. 285–306, 1999.

KOENING, M. L.; MACÊDO, S. J. Hydrology and Phytoplankton Community Structure at Itamaracá-Pernambuco (Northeast Brazil). **Braz. arch. biol. technol.**, v.42 n.4, 1999. doi: 10.1590/S1516-89131999000400002

KOZLOWSKI, W. A.; DEUTSCHMAN, D.; GARIBOTTI, I.; TREES, C.; VERNET, M. An evaluation of the application of CHEMTAX to Antarctic coastal pigment data. **Deep Sea Research I**, v. 58, p. 350–64, 2011. doi:10.1016/j.dsr.2011.01.008

LATASA, M. Improving estimations of phytoplankton class abundances using

CHEMTAX. **Mar. Ecol. Prog. Ser.**, v. 329, p. 13–21, 2007.

LASSUS, P.; CHOMÉRAT, N.; HESS, P.; NÉZAN, E. **Toxic and harmful microalgae of the World Ocean/ Micro-algues toxiques et nuisibles de l'océan mondial**. Denmark, International Society for the Study of Harmful Algae/Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. IOC Manuals and Guides, 68, 2016, p.132 (Bilingual English/French). Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247767>. Acesso em: 28 abr.2021

LEBLANC, K. *et al.* Nanoplanktonic diatoms are globally overlooked but play a role in spring blooms and carbon export. **Nature Communications**, v. 9, n. 953, p. 1-12, 2018. doi: 10.1038/s41467-018-03376-9

LEE, M.; WON, N-I; BAEK, S. H. 2020. Comparison of HPLC Pigment Analysis and Microscopy in Phytoplankton Assessment in the Seomjin River Estuary, Korea. **Sustainability**, v. 12, n. 4, p. 1-19, 2020. doi: 10.3390/su12041675

LELONG, A.; HÉGARET, H.; SOUDANT, P.; BATES, S.S. *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) species, domoic acid and amnesic shellfish poisoning: revisiting previous paradigms. **Phycologia**, v. 51, n. 2, p. 168–216, 2012.

LEWITUS, A. J.; WHITE, D. L.; TYMOWSKI, R. G.; GEESEY, M. E.; HYMEL, S. N.; NOBLE, P. A. Adapting the CHEMTAX method for assessing phytoplankton taxonomic composition in Southeastern U.S. estuaries. **Estuaries and Coasts**, n. 28, p. 160-172, 2005. doi: 10.1007/BF02732761

LIMA, C. R.; MENDES, C. R. B.; TAVANO, V. M.; DETONI, A. M. S.; SECCHI, E. R. Chemotaxonomy-based mapping of phytoplankton communities in the subtropical Southwestern Atlantic Ocean, with emphasis on the marine cyanobacterium *Trichodesmium*. **Progress in Oceanography**, v. 172, p. 77–88, 2019. doi: 10.1016/j.pocean.2019.01.008

LITCHMAN, E. Resource competition and the ecological success of phytoplankton. *In*: FALKOWSKI, P. G.; KNOLL, A. H (Editores). Evolution of primary producers in the sea. **Academic Press**, p. 351-375, 2007. Cap.16. doi: 10.1016/B978-012370518-1/50017-5

LITCHMAN, E.; KLAUSMEIER, C. A.; SCHOFIELD, O. M.; FALKOWSKI, P. G. The role of functional traits and trade-offs in structuring phytoplankton communities: scaling from cellular to ecosystem level. **Ecology Letters**, v. 10, p. 1170–1181, 2007. doi: 10.1111/j.1461-0248.2007.01117.x

LOHBECK, K.T.; RIEBESELL, ULF.; REUSCH, T. B. H. Adaptive evolution of a key phytoplankton species to ocean acidification. **Nature Geoscience**, v. 5, p. 346-351, 2012. doi:10.1038/NCEO1441.

MACKEY, M. D.; MACKEY, D. J.; HIGGINS, H. W.; WRIGHT, S. W. CHEMTAX- a program for estimating class abundances from chemical markers: Application to HPLC measurements of phytoplankton. **Mar. Ecol. Prog. Ser.**, v. 144, p. 265–283, 1996. doi :10.3354/meps144265

MARGALEF, R. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. **Oceanologica Acta**, v. 1, p. 493–509, 1978. Disponível em: <https://archimer.ifremer.fr/doc/00123/23403/21230.pdf>. Acesso em: 24 de mai. 2021.

MARTIN-JÉZÉQUEL, V.; CALU, G.; CANDELA, L.; AMZIL, Z.; JAUFFRAIS, T.; SÉCHET, V.; WEIGEL, P. Effects of organic and inorganic nitrogen on the growth and production of domoic acid by *Pseudo-nitzschia multiseriis* and *P. australis* (Bacillariophyceae) in Culture. **Mar. Drugs**, v. 13, p. 7067-7086, 2015. doi:10.3390/md13127055

MENDES, C. R. B.; ODEBRECHT, C.; TAVANO, V. M.; ABREU, P.C. Pigment-based chemotaxonomy of phytoplankton in the Patos Lagoon estuary (Brazil) and adjacent coast. **Marine Biology Research**, v. 13, n. 1, p. 22-35, 2017. doi: 10.1080/17451000.2016.1189082

MENDES, C. R. B.; KERR, R.; TAVANO, V. M.; CAVALHEIRO, F. A.; GARCIA, C. A. E.; DESSAI, D. R. G.; ANILKUMAR, N. Cross-front phytoplankton pigments and chemotaxonomic groups in the Indian sector of the Southern Ocean. **Deep-Sea Research Part II : Topical Studies In Oceanography**, v. 118, p. 221–232, 2015. doi:10.1016/j.dsr2.2015.01.003

MENDES, C. R.; SÁ, C.; VITORINO, J.; BORGES, C.; GARCIA, V. M. T.; BROTAS, V. Spatial distribution of phytoplankton assemblages in the Nazaré submarine canyon region (Portugal): HPLC-CHEMTAX approach. **Journal of Marine Systems**, v. 87, n. 1, p. 90-101, 2011. doi: 10.1016/j.jmarsys.2011.03.005

MENDES, C. R.; CARTAXANA, P.; BROTAS, V. HPLC determination of phytoplankton and microphytobenthos pigments: Comparing resolution and sensitivity of a C18 and a C8 method. **Limnol. Oceanogr. Methods**, v. 5, n. 10, p. 363–370, 2007. doi: 10.4319/lom.2007.5.363

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, p. 1-10, 2002.

MORAIS, J. O.; XIMENES NETO, A. R.; PESSOA, P. R. S.; PINHEIRO, L. S. Morphological and sedimentar patterns of a semi-arid shelf, Northeast Brazil. **Geo-Marine Letters**, n. 40, p. 835-842, 2019. doi:10.1007/s00367-019-00587-x

MOREIRA, M.O.P. **Produção primária do fitoplâncton em um ecossistema estuarino tropical (Estuário do Rio Cocó, Fortaleza - Ceará)**. 1994. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) - Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 1994.

MOURA, M. S. B.; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. L.; SOUZA, L. S. B.; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. Clima e água de chuva no semi-árido brasileiro. *In.*: BRITO, L. T. L.; MOURA, M. S. B.; GAMA, G. F. B (Org.). **Potencialidades da água de chuva no semi-árido brasileiro**. Petrolina, PE: Embrapa semi-árido, 2007. p. 1-181. Disponível em: [https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142156/1/Brito.-Livro-agua-chuva .pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142156/1/Brito.-Livro-agua-chuva.pdf). Acesso: 18.mar. 2021.

NASROLLAHZADEH, H. S.; DIN, Z. B.; FOONG, S. Y.; MAKHLOUGH, A. Trophic status of the Iranian Caspian Sea based on water quality parameters and phytoplankton

diversity. **Continental Shelf Research**, v. 28, p. 1153-1165, 2008. doi: 10.1016/j.csr.2008.02.015

NELSON, D. M.; TRÉGUER, P.; BRZEZINSKI, M. A.; LEYNAERT, A.; QUÉGUINER, B. Production and dissolution of biogenic sílica in the ocean: revised global estimates, comparison with regional data and relationship to biogenic sedimentation. **Global Biogeochemical Cycle**, v.9, n.3, p.359-372, 1995. doi:10.1029/95GB01070

OKSANEN, J. *et al.* **vegan: community ecology package**. R package version 2.5-6, 2019. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=vegan>. Acesso: 20 set. 2020.

PAN, H.; LI, A.; CUI, Z.; DING, D.; QU, K.; ZHENG, Y.; LU, L.; JIANG, T.; JIANG, T. A comparative study of phytoplankton community structure and biomass determined by HPLC-CHEMTAX and microscopic methods during summer and autumn in the central Bohai Sea, China. **Marine Pollution Bulletin**, v. 155, p. 1-11, 2020. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111172.

PARTENSKY, F.; BLANCHOT, J.; VAULOT, D. Differential distribution and ecology of Prochlorococcus and Synechococcus in oceanic waters: a review. *In*: CHARPY, L.; LARKUM, A. W. D (Editores). **Marine cyanobacteria**. Bulletin l'Inst Océanographique, v. 19, p. 457-475, 1999. Disponível em: [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers15-02/010019783.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers15-02/010019783.pdf). Acesso: 21. out. 2020.

PASSAVANTE, J. Z. O.; KOENING, M. L.; ESKINAZI-LEÇA, E. Dinoflagellates from the continental shelf of Ceará, Brazil. **Tropical Oceanography**, v. 17, n. 1, 1982. doi: 10.5914/tropocean.v17i1.2604

PENNA, S. N.; CAPELLACCI, S.; RICCI, F. The influence of the Po River discharge on phytoplankton bloom dynamics along the coastline of Pesaro (Italy) in the Adriatic Sea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 48, p. 321-326, 2004. doi:10.1016/j.marpolbul.2003.08.007

PINHEIRO, L. S.; XIMENES NETO, A. R.; MEDEIROS, D. H. M.; PESSOA, P. R. S.; MORAIS, J. O. A plataforma continental semiárida do Brasil. *In*: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L.S. (orgs.) **Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos**. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 129-152. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1kC53ZLBkjbR1HDJc0LyTdfBgNUYH7NCZ/view>. Acesso em: 23 dez. 2020.

RIEGMAN, R.; STOLTE, W.; NOORDELOOS, A. A. M.; SLEZAK, D. Nutrient uptake and alkaline phosphatase (EC 3:1:3:1) activity of *Emiliania huxleyi* (Prymnesiophyceae) during growth under N and P limitation in continuous cultures. **Journal of Phycology**, v. 36, p. 87-96, 2001. doi:10.1046/j.1529-8817.2000.99023.x

RODRIGUES, S. V.; MARINHO, M. M.; CUBAS JONCK, C. C.; GONCALVES, E. S.; BRANT, V. F.; PARANHOS, R.; CURBELO, M. P.; FALCAO, A. P. Phytoplankton community structures in shelf and oceanic waters off southeast Brazil (20°–25°S), as determined by pigment signatures. **Deep Sea Res. Part I**, v. 88, p. 47–62, 2014. doi:10.1016/j.dsr.2014.03.006



REYNOLDS, C. S. **The ecology of phytoplankton**. New York: Cambridge University Press, 2006. 535 p. doi: 10.1017/CBO9780511542145

SAES, R. V. S. T. **Diversidade e estoque de carbono em cianobactérias na costa e nos arquipélagos da porção oeste do giro equatorial atlântico**. 2018. Tese (Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais) — Programa de Pós-graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: [http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/34827/1/2018\\_tese\\_rvstsaes.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/34827/1/2018_tese_rvstsaes.pdf). Acesso em: 30 out. 2020.

SAHRAOUI, I.; GRAMI, B.; BATES, S. S.; BOUCHOUICHA, D.; CHIKHAOUI, M. A.; MABROUK, H. H.; HLAILI, A. S. Response of potentially toxic *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) populations and domoic acid to environmental conditions in a eutrophied, SW Mediterranean coastal lagoon (Tunisia). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 102, p. 95-104, 2012. doi:10.1016/j.ecss.2012.03.018

SCHLÜTER, L.; HENRIKSEN, P.; NIELSEN, T. G, JAKOBSEN, H. H. Phytoplankton composition and biomass across the southern Indian Ocean. **Deep Sea Research I**, v.58, p. 546–56, 2011. doi:10.1016/j.dsr.2011.02.007

SCHNETZER, A.; MILLER, P. E.; SCHAFFNER, R. A.; STAUFFER, B. A.; JONES B. H.; WEISBERG, S. B.; DIGIACOMO, P. M.; BERELSON, W. M.; CARON, D. A. Blooms of *Pseudo-nitzschia* and domoic acid in the San Pedro Channel and Los Angeles harbor áreas of the Southern California Bight, 2003–2004. **Harmful Algae**, v. 6, n. 3, p. 372–387, 2007. doi: 10.1016/j.hal.2006.11.004

SCHLITZER, R. Ocean Data View. 2020. Disponível em: <https://odv.awi.de/>. Acesso em: 11 abri. 2020.

SIMON, N.; CRAS, A-L.; FOULON, E.; LEMÉE, R. Diversity and evolution of marine phytoplankton. **C. R. Biologies**, v. 332, p. 159-170, 2009. doi: 10.1016/j.crv.2008.09.009

SOARES, M. O.; TEIXEIRA, C. E. P.; FERREIRA, S. M. C.; GURGEL, A. L. A. R.; PAIVA, B. P.; MENEZES, M. O. B.; DAVIS, M.; TAVARES, T. C. L. Thermal stress and tropical reefs: mass coral bleaching in a stable temperature environment? **Mar. Biodivers.**, v. 49, p. 2921-2929, 2019. doi:10.1007/s12526-019-00994-4

SOARES, M. O.; ROSSI, S.; MARTINS, F. A. S.; CARNEIRO, P. B. M. The forgotten reefs: benthic assemblage coverage on a sandstone reef (Tropical South-western Atlantic). **Journal of the Marine Biological Associations on the United Kingdom**, v. 97, p. 1585-1592, 2017. doi:10.1017/S0025315416000965

SOARES, M. O.; DAVIS, M.; PAIVA, C. C.; CARNEIRO, P. B.M. Mesophotic ecosystems: coral and fish assemblages in a tropical marginal reef (northeastern Brazil). **Marine Biodiversity**, v.1, 2016. doi: 10.1007/s12526-016-0615-x

SOARES, M. O.; PAIVA, C. C.; FREITAS, J. E. P.; LOTUFO, T. M. C. Gestão de unidades de conservação marinhas: o caso do Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio, NE – Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 11, n. 2, p. 257–268, 2011. doi: 10.5894/rgci261

SOUSA-SOUTO, L.; SOUSA-SOUTO, E. **Análise de dados ecológicos: um guia simplificado de análises estatísticas para estudantes e profissionais da área ambiental.** 1.ed. Brasília: Ed. do autor, 2020.

SOUZA, M. S.; MENDES, C. R. B.; GARCIA, V. M. T.; POLLERY, R.; BROTAS, V. Phytoplankton community during a coccolithophorid bloom in the Patagonian shelf: microscopic and high-performance liquid chromatography pigment analyses. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 92, n.1, p.13–27, 2012. doi:10.1017/S0025315411000439

STAUBER, J. L.; JEFFREY, S. W. Photosynthetic pigments in fifty-one species of marine diatoms. **Journal of Phycology**, v. 24, p.158-172, 1988. doi: 10.1111/j.1529-8817.1988.tb04230.x

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. **A Practical Handbook of Seawater Analysis.** Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, 1972. Disponível em: [https://epic.awi.de/id/eprint/39262/1/Strickland-Parsons\\_1972.pdf](https://epic.awi.de/id/eprint/39262/1/Strickland-Parsons_1972.pdf). Acesso: 20 dez. 2020.

SUNESSEN, I.; MÉNDEZ, S. M.; MANCERA-PINEDA, J. E.; BOTTEIN, M.Y. D.; ENEVOLDSEN, H. The Latin America and Caribbean HAB status report based on OBIS and HAEDAT maps and databases. **Harmful Algae**, 2020. No prelo. doi: 10.1016/j.hal.2020.101920

TADA, K.; SAKAI, K.; NAKANO, Y.; TAKEMURA, A.; MONTANI, S. Size-fractionated phytoplankton biomass in coral reef waters off Sesoko Island, Okinawa, Japan. **Journal of Plankton Research**, v. 25, n.8, p. 991–997, 2003. doi:10.1093/plankt/25.8.991

TEIXEIRA, C. E. P.; MACHADO, G. T. On the temporal variability of the sea surface temperature on the Tropical Southwest Atlantic. **Continental Shelf. Journal of Coastal Research**, v. 65, p. 2071-2077, 2013. doi: 10.2112/SI65-350.1.

THESSSEN, A. E.; BOWERS, H. A.; STOECKER, D. K. Intra- and interspecies differences in growth and toxicity of *Pseudo-nitzschia* while using different nitrogen sources. **Harmful Algae**, v. 8, p. 792–810, 2009. doi: 10.1016/j.hal.2009.01.003

UTERMÖHL H. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton- methodik. **Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Mitteilungen**, v. 9, n. 1.p.1–38, 1958. doi: 10.1080/05384680.1958.11904091

VILLAMAÑA, M.; MARAÑÓN, E.; CERMEÑO, P.; ESTRADA, M. FERNÁNDEZ-CASTRO, B.; FIGUEIRAS, F. G.; LATASA, M.; OTERO-FERRER, J. L.; REGUERA, B.; MOURIÑO-CARBALLIDO, B. The role of mixing in controlling resource availability and phytoplankton community composition. **Progress in Oceanography**, v. 178, p. 1-5, 2019. doi: 10.1016/j.pcean.2019.102181

VITAL, H.; STATTEGGER, K.; AMARO, V. E.; SCHWARZER, K.; FRAZÃO, E. P.; TABOSA, W.F.; SILVEIRA, I, M. A modern high-energy siliciclastic-carbonate platform. *In*: HAMPSON, G.; STEEL, R.; BURGESS, P.; DALRYMPLE, R. (Eds.). **Recent Advances in**

**Models of Siliciclastic Shallow-Marine Stratigraphy.** SEPM Society for Sedimentary Geology), Tulsa, pp. 177–190, 2008. doi:10.2110/pec.08.90.0177.

VOLLENWEIDER, R. A.; GIOVANARDI, F.; MONTANARI, G.; RINALDI, A. Characterization of the trophic conditions of marine coastal areas with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. **Environmetrics**, v. 9, p. 329–357, 1998. doi: 10.1002/(SICI)1099-095X(199805/06)9:3<329::AID-ENV308>3.0.CO;2-9

WRIGHT, S. W.; ISHIKAWA, A.; MARCHANT, H. J.; DAVIDSON, A. T.; VAN DEN ENDEN, R. L.; NASH, G. V. Composition and significance of picophytoplankton in Antarctic waters. **Polar Biol.**, v. 32, p. 797–808, 2009. doi:10.1007/s00300-009-0582-9

WRIGHT, S. W.; JEFFREY. Pigment markers for phytoplankton production. *In:* VOLKMANN, J.K. (Ed.). *Marine Organic Matter: Biomarkers, Isotopes and DNA.* The Handbook of Environmental Chemistry, v. 2, p.71–104, **Springer**, Berlin, Heidelberg, 2006. doi: 10.1007/698\_2\_003

XIMENES NETO, A. R.; MORAIS, J. O.; CIARLINI, C. Modern and relict sedimentary systems of the semi-arid continental shelf in NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 84, p. 56–68, 2018. doi: 10.1016/j.jsames.2018.03.004

ZAPATA, M.; RODRÍGUEZ, F.; GARRIDO, J. L. Separation of chlorophylls and carotenoids from marine phytoplankton: a new HPLC method using a reversed phase C8 column and pyridine-containing mobile phases. **Mar Ecol Prog Ser**, v. 195, p. 29-45, 2000. doi:10.3354/meps195029.

ZHANG, H.; DEVRED, E.; FUJIWARA, A.; QIU, Z.; LIU, X. Estimation of phytoplankton taxonomic groups in the Arctic Ocean using phytoplankton absorption properties: implication for ocean-color remote sensing. **Optics Express**, v. 26, n. 24, p. 32280-32301, 2018. doi: 10.1364/OE.26.032280

ZHOU, J.; SONG, X.; ZHANG, C.Y.; CHEN, G. F.; LAO, Y. M.; JIN, H.; CAI, Z. H. Distribution Patterns of microbial community structure along a 7000-mile latitudinal transect from the Mediterranean Sea across the Atlantic Ocean to the Brazilian Coastal Sea. **Microb Ecol**, v. 76, p. 592–609, 2018. doi:10.1007/s00248-018-1150-z

**APÊNDICE A – CONCENTRAÇÕES DE PIGMENTOS DETECTADAS NAS AMOSTRAS DE SUBSUPERFÍCIE NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ATLÂNTICO EQUATORIAL SUDOESTE (CEARÁ, NORDESTE DO BRASIL).**

<b>Pigmentos/Amostras</b>	<b>E1s</b>	<b>E2s</b>	<b>E3s</b>	<b>E4s</b>	<b>E5s</b>	<b>E6s</b>	<b>E7s</b>	<b>E8s</b>	<b>E9s</b>	<b>E10s</b>
<b>Chl <i>a</i></b>	0,17	0,26	0,25	0,26	0,33	0,37	0,36	0,26	0,35	0,24
<b>DV Chl <i>a</i></b>	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,05
<b>Chl <i>b</i></b>	0,01	0,01	0,03	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02
<b>Chl <i>c</i><sub>2</sub></b>	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01
<b>Chl <i>c</i><sub>2</sub> MGDG</b>	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Chl <i>c</i><sub>3</sub></b>	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01
<b>Mg DVP</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Fuco</b>	0,04	0,06	0,07	0,06	0,12	0,12	0,13	0,07	0,11	0,04
<b>But</b>	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01
<b>Hex</b>	0,02	0,05	0,05	0,03	0,03	0,04	0,03	0,05	0,04	0,03
<b>Diad</b>	0,01	0,03	0,04	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,02
<b>Allo</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
<b>Diato</b>	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00
<b>Zea</b>	0,11	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,09	0,12	0,13	0,16
<b><math>\beta\epsilon</math>-car</b>	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b><math>\beta\beta</math>-car</b>	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>Per</b>	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Viola</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Chlide <i>a</i></b>	0,00	0,01	0,01	0,01	0,05	0,01	0,04	0,01	0,00	0,00
<b>Pheide <i>a</i></b>	0,01	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,01	0,01
<b>Phe <i>a</i></b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01

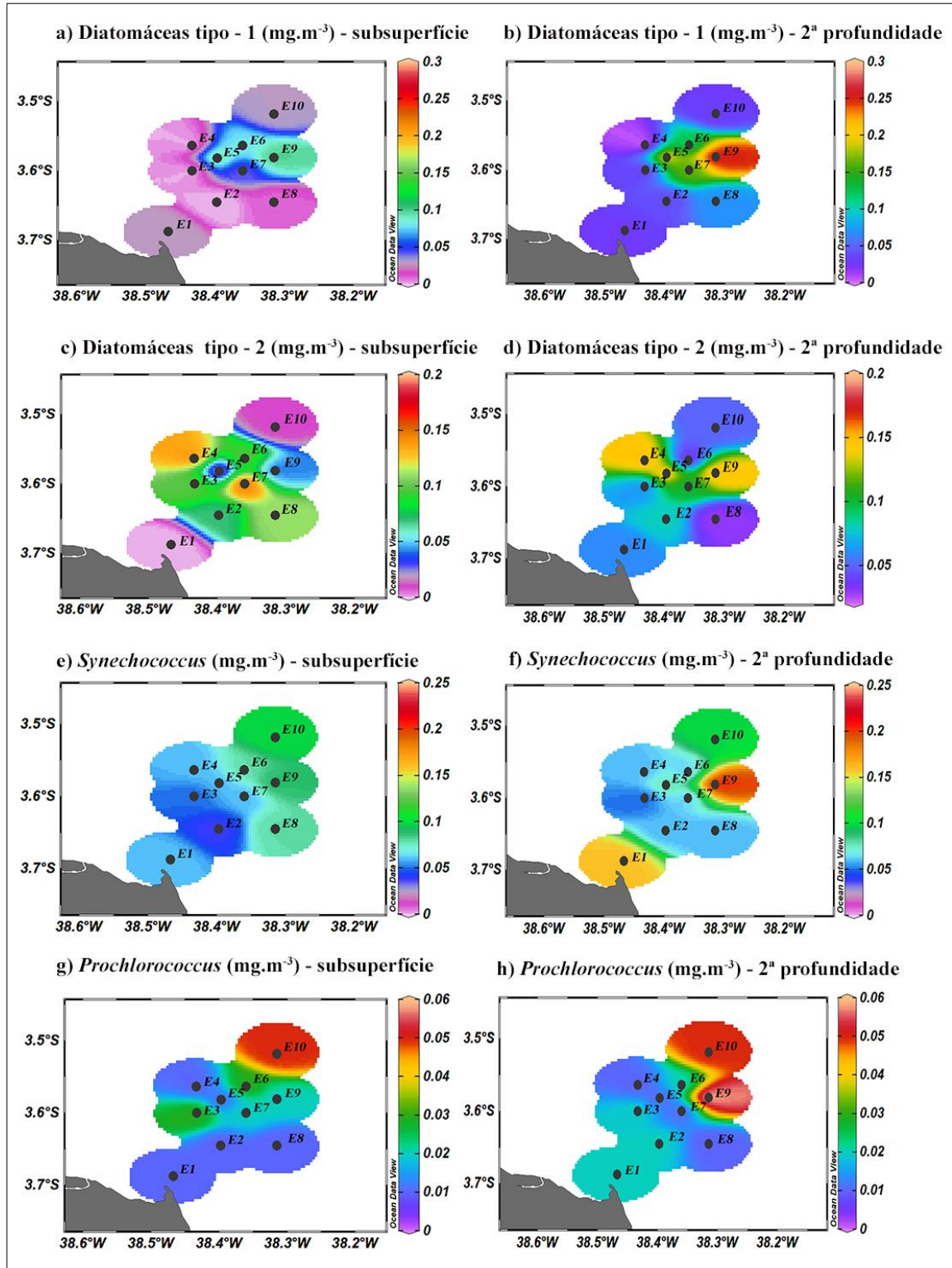
Fonte: Elaborado pela autora.

**APÊNDICE B – CONCENTRAÇÕES DE PIGMENTOS DETECTADAS NAS AMOSTRAS DA 2ª PROFUNDIDADE NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ATLÂNTICO EQUATORIAL SUDOESTE (CEARÁ, NORDESTE DO BRASIL).**

<b>Pigmentos/Amostras</b>	<b>E1p</b>	<b>E2p</b>	<b>E3p</b>	<b>E4p</b>	<b>E5p</b>	<b>E6p</b>	<b>E7p</b>	<b>E8p</b>	<b>E9p</b>	<b>E10p</b>
<b>Chl <i>a</i></b>	0,3	0,4	0,3	0,2	0,5	0,3	0,4	0,3	0,8	0,3
<b>DV Chl <i>a</i></b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
<b>Chl <i>b</i></b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Chl <i>c</i><sub>2</sub></b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
<b>Chl <i>c</i><sub>2</sub> MGDG</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Chl <i>c</i><sub>3</sub></b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Mg DVP</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Fuco</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,0
<b>But</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Hex</b>	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
<b>Diad</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
<b>Allo</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Diato</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Zea</b>	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1
<b><math>\beta\epsilon</math>-car</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b><math>\beta\beta</math>-car</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Per</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Viola</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Chlide <i>a</i></b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Pheide <i>a</i></b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
<b>Phe <i>a</i></b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

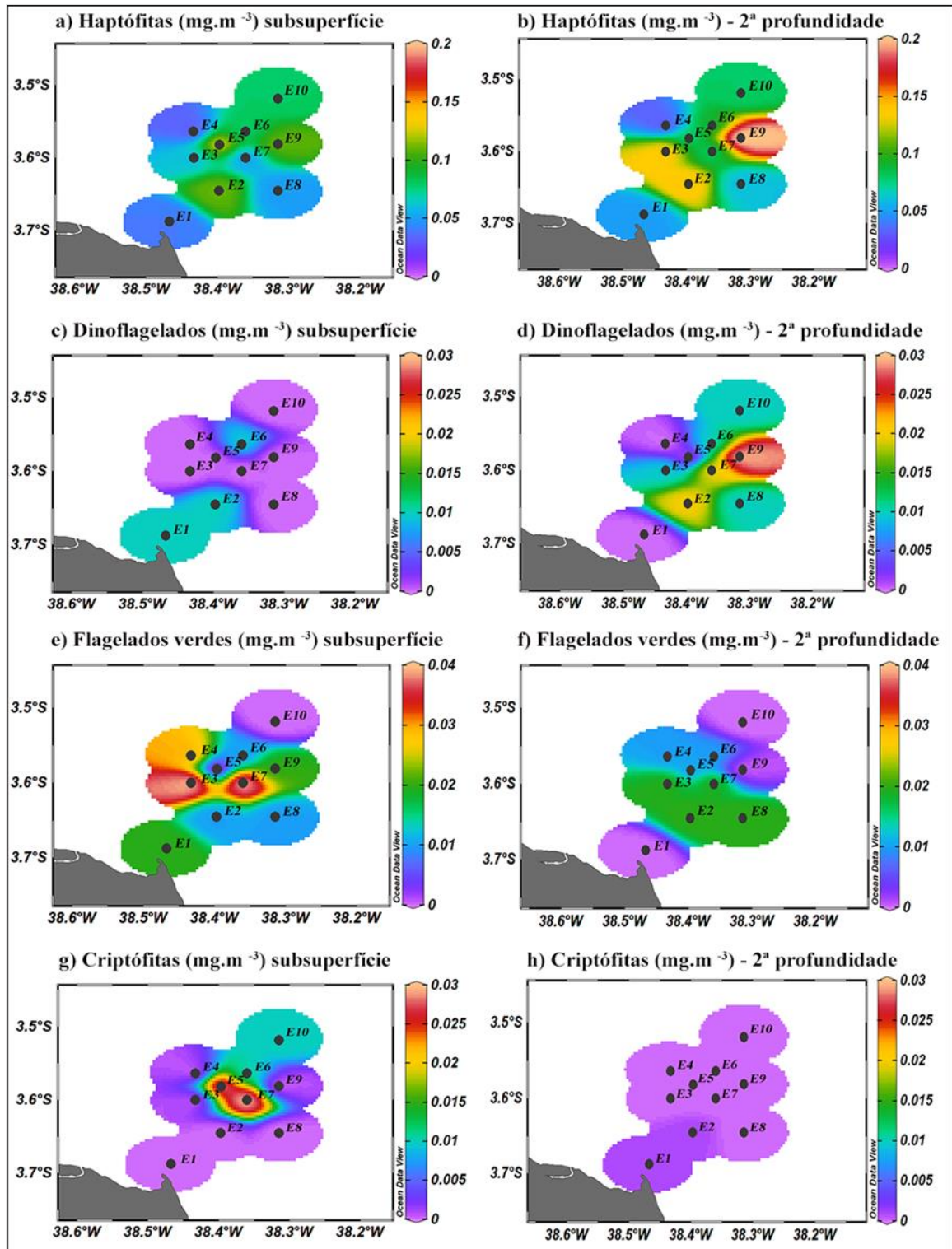
Fonte: Elaborado pela autora.

**APÊNDICE C – CONTRIBUIÇÕES ABSOLUTAS DAS DIATOMÁCEAS TIPO-1 (a E b), DIATOMÁCEAS TIPO-2 (c E d), *SYNECHOCOCCUS* (e E f) E *PROCHLOROCOCCUS* (g E h) PARA A CLOROFILA *a* TOTAL DAS AMOSTRAS DE SUBSUPERFÍCIE E DE 2ª PROFUNDIDADE NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ATLÂNTICO EQUATORIAL SUDOESTE (CEARÁ, NORDESTE DO BRASIL).**



Fonte: Elaborada pela autora.

**APÊNDICE D – CONTRIBUIÇÕES ABSOLUTAS DE HAPTÓFITAS (a E b),  
DINOFLAGELADOS (c E d), FLAGELADOS VERDES (e E f) E CRIPTÓFITAS (g E h)  
PARA A CLOROFILA *a* TOTAL DAS AMOSTRAS DE SUBSUPERFÍCIE E DA 2ª  
PROFUNDIDADE NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ATLÂNTICO  
EQUATORIAL SUDOESTE (CEARÁ, NORDESTE DO BRASIL).**



Fonte: Elaborado pela autora.