



Universidade Federal do Maranhão
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Departamento de Oceanografia e Limnologia
Curso de Graduação em Oceanografia

Thaís Fróes França

**DISTRIBUIÇÃO DE SILICATO DISSOLVIDO NA ZONA FÓTICA OCEÂNICA
ATLÂNTICA EQUATORIAL AO LARGO DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO
MARANHÃO**

SÃO LUÍS, MA.
NOVEMBRO / 2018

Thaís Fróes França

**DISTRIBUIÇÃO DE SILICATO DISSOLVIDO NA ZONA FÓTICA DA REGIÃO
OCEÂNICA ATLÂNTICA EQUATORIAL AO LARGO DA PLATAFORMA
CONTINENTAL DO MARANHÃO**

**Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Oceanografia da
Universidade Federal do Maranhão,
como requisito para a obtenção do Grau
de Bacharelado em Oceanografia.**

**Orientadora: Prof.^a Dr.^a Samara
Aranha Eschrique.**

**SÃO LUÍS, MA.
NOVEMBRO / 2018**

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

França, Thais Fróes.

Distribuição de silicato dissolvido na zona fótica
Oceânica Atlântica Equatorial ao largo da Plataforma
Continental do Maranhão / Thais Fróes França. - 2018.
50 f.

Orientador(a): Samara Aranha Eschrique.

Monografia (Graduação) - Curso de Oceanografia,
Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.

1. Águas oceânicas. 2. Ambiente tropical. 3.
Atlântico Sul. 4. Biogeoquímica. 5. Silicato dissolvido.
I. Eschrique, Samara Aranha. II. Título.

Thaís Fróes França

**DISTRIBUIÇÃO DE SILICATO DISSOLVIDO NA ZONA FÓTICA DA REGIÃO
OCEÂNICA ATLÂNTICA EQUATORIAL AO LARGO DA PLATAFORMA
CONTINENTAL DO MARANHÃO**

**Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Oceanografia da
Universidade Federal do Maranhão, como
requisito para a obtenção do Grau de
Bacharelado em Oceanografia.**

Aprovada em: ____ de _____ de ____

Banca Examinadora

Dr^a. Samara Aranha Eschrique

MSc. Jefferson Horley Feitosa Serejo

Dr^a. Cláudia Klose Parise

*A Gloridete, minha mãe,
minha melhor amiga, meu amor eterno.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, por todas as oportunidades e pela paciência e sabedoria dos momentos difíceis.

Aos meus pais Gloridete e Henrique, ao meu irmão Thiago, e minha sobrinha por todo o apoio e amor dado durante minha vida e caminhada acadêmica, sempre fazendo de tudo para que eu pudesse seguir meu sonho de ser oceanógrafa. Em especial, a minha mãe que sempre foi e sempre será meu exemplo de vida, que apesar de todas as dificuldades sempre me faz olhar o lado bom da vida. Mulher guerreira e batalhadora, que me ensinou o que é o amor e a ser uma pessoa ética e moral.

Ao meu avô Eduval, que sempre estará em nossos corações e foi exemplo de honestidade e bondade. Ao meu avô José, que cuidou de mim e me ensinou a amar a vida. A vovó Bernada, mulher guerreira e que mesmo com toda a rigorosidade, tem um coração enorme. A vovó Augustinha, minha madrinha, que me ensinou que a vida é muito mais que trabalho. Agradeço também aos meus primos, por todo o amor e carinho que sempre me dão, por sempre estarem do meu lado. Me orgulho muito de vocês e da vida que estão construindo.

A minha orientadora e mãe acadêmica, Prof^ª. Dr^ª. Samara Aranha Eschrique, por todo apoio e dedicação. Obrigada por ter aceito me orientar e por todo o suporte acadêmico e científico que me deu durante esses anos de estágio e orientação. Professora, você sempre será uma inspiração para mim, me ensinando a ser uma profissional com ética e moral. Agradeço também por todo os incentivos e por acreditar no meu potencial e no dos seus outros orientandos. A senhora tem grande mérito nas nossas conquistas. Agradeço também por ter me proporcionado o LABCICLOS, um laboratório que se tornou muito mais que um ambiente de estudo e pesquisa, se tornou uma família.

Aos integrantes do Laboratório de Ciclos Biogeoquímicos dos Constituintes Químicos da Água (LABCICLOS), que me ajudaram durante as análises das amostras e me inspiram a ser uma estudante melhor. Me orgulho muito de vocês, possuem um brilhante futuro profissional. Em especial a Igor, Hugo e Adilson que me ajudaram durante a elaboração dessa monografia e foram grandes amigos durante essa jornada.

A oceanógrafa Michelly e ao James, por me ajudarem nas análises dos dados e nos dados cartográficos.

Ao suporte financeiro prestado a esta pesquisa, que se integra no âmbito do projeto: “Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia – Transporte de Materiais Continente-Oceano – INCT-TMCOcean”.

A Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e ao LABCICLOS, pela concessão de espaço físico e estrutura disponibilizada para a realização desse trabalho.

Ao Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Maranhão (LABOMAR) e ao Laboratório de Hidrodinâmica Costeira, Estuarina e de Águas Interiores (LHiCEAI) pelo apoio e suporte científico.

A tripulação do Navio Hidroceanográfico Cruzeiro do Sul, pelo apoio e consideração durante as atividades de campo dessa monografia.

Aos membros da banca, Prof^ª. Dr^ª. Cláudia Klose Parise e ao MSc. Jefferson Horley Feitosa Serejo, pelas críticas e sugestões fornecidas.

Aos professores e funcionários do Departamento de Oceanografia e Limnologia (DEOLI), em especial ao Prof. Dr. Ricardo Barbieri por todo apoio e conhecimento que me forneceu.

Aos meus amigos que me deram apoio e carinho, me ajudaram tanto nos momentos bons quanto aos ruins. Vocês tornaram o percurso da criação desse trabalho muito mais leve e gratificante. Em especial a Valléria, Laiane, Eduardo, Fernanda, Leonardo e Rafael, obrigada por todo carinho e calma que tiveram comigo, sempre me incentivando a não desistir e me apoiando em minhas escolhas.

Aos que ajudaram, de forma direta ou indireta, durante a realização desse trabalho.

“Por muito tempo eu contemplava o oceano sem entendê-lo. Eu sentia a imensa energia de suas águas. Eu ficava impressionado com a profundidade de seu azul. Eu respirava o ar do mar. Mas na realidade eu não via nada.

(...)

Eu via mares fortes cavarem sulcos de areia; eu não via que aquela mistura era fonte da vida. Eu via os ventos esculpirem dunas; eu não via o casamento da terra e do mar. Eu vi o sal embranquecer uma terra árida; eu não via que o oceano tinha trazido vida aos continentes.

Eu via prados imensos colonizarem o fundo do mar como nunca tinha visto em terra. Mas em Shark Bay ainda havia muito mais, havia a origem da minha própria história, eu, o Homem. Ela tinha começado aqui em uma colônia de fósseis de bactérias que vivem a flor do oceano.

(...)

Eu descendi dessa forma de vida, a mais antiga conhecida na Terra, cujo nascimento remonta há 4 bilhões de anos. Eu vim daí, eu venho do oceano. Hoje diante do oceano não vejo nada mais além de mim, o Homem.”

Yann Arthus-Bertrand & Michael Pitiot

Filme Planet Ocean

RESUMO

Esse trabalho tem como objetivo o estudo da distribuição do silicato inorgânico dissolvido na quebra da plataforma continental do Estado do Maranhão e suas conexões com o oceano profundo, em três profundidades da zona fótica: 100%, 50% e 1% de incidência de luz. As amostragens foram realizadas em uma radial perpendicular à costa, com quatro estações, a bordo do Navio Hidroceanográfico Cruzeiro do Sul da Marinha de Guerra do Brasil em setembro de 2014, no período de estiagem. No estudo foram determinadas as concentrações de silicato dissolvido, utilizando-se o método colorimétrico de Grasshoff et al. (1999). Outros parâmetros estudados, importantes para estudos oceanográficos, foram: temperatura do mar ($^{\circ}\text{C}$) e a salinidade (g kg^{-1}), determinadas através de CTD *Sea-Bird 25 plus*; pH, determinado com o auxílio do pHmetro HANNA *METROHM 826*; o oxigênio dissolvido (OD, mg L^{-1}), medido com o método analítico de Winkler (1888), conforme descrito por Grasshoff et al. (1999); para a determinação dos totais de sólidos em suspensão (TSS), da matéria orgânica particulada em suspensão (MOS) e do silicato dissolvido as amostras de água foram coletadas por meio do lançamento da garrafa tipo Go Flo e filtradas a bordo. O TSS e MOS foram determinados pelo método gravimétrico, segundo a metodologia descrita por Strickland & Parsons (1968) e APHA (2001). O silicato dissolvido não apresentou variação significativa entre as estações à 100% de incidência da luz, apresentando média $14,99 \mu\text{mol L}^{-1}$. Na zona de 50% de penetração, a média foi de $17,32 \mu\text{mol L}^{-1}$, enquanto que à 1% de incidência de luz, a média encontrada foi de $27,48 \mu\text{mol L}^{-1}$. Os valores mais elevados de silicato dissolvido à 1% de incidência de luz podem estar relacionados com a reciclagem desse nutriente, que acabam sustentando a produção primária de diatomáceas na zona fótica dessas águas oceânicas e os valores menos elevados estão provavelmente relacionados com a utilização desse nutriente pelos organismos. As pequenas variações nos valores de OD e MOS podem estar relacionados com essas degradações de matéria orgânica e realização da fotossíntese. Os valores mínimos e máximos de OD foram, respectivamente, $6,28$ e $8,45 \text{ mg L}^{-1}$ e para MOS foram $1,23$ e $5,78 \text{ mg L}^{-1}$ na PC-MA. Segundo os parâmetros físicos e químicos estudados, os resultados obtidos apresentaram características de áreas oceânicas, mostrando a baixa influência de aportes terrestres no período estiagem da região, além de comportamento típico de regiões de baixa latitude. O silicato dissolvido apresentou baixas concentrações na camada superficial e um crescimento com o aumento da profundidade, podendo estar associado ao maior consumo pelo fitoplâncton à superfície e com a degradação da matéria orgânica nas camadas de 1% de incidência de luz, que libera os nutrientes novamente para a coluna d'água.

Palavras-Chave:

Biogeoquímica; silicato dissolvido; águas oceânicas; atlântico sul; ambiente tropical.

ABSTRACT

This paper has as main objective the study of the distribution of the inorganic silicate dissolved in the breakdown of the continental shelf of the State of Maranhão and its connections with the ocean deep, in three depth on the Photic zone: 100%, 50% and 1% of light incidence. The samplings were obtained in one radii perpendicular to the coast, in four stations on board of the Brazilian Navy Hydroceanographic Ship “Cruzeiro do Sul” in September 2014, in the Drought season of the states. In this study were determined the concentrations of the dissolved silicate, using the colorimetric method of Grasshoff *et al.* (1999). Others studied parameters, important for the oceanographic study, were: Temperature (°C) and the salinity (g kg⁻¹), determined by the CTD *Sea-Bird 25 plus*; pH, determined using the pH meter HANNA *METROHM* 826; The dissolved oxygen (OD, mg L⁻¹), measured using the analytical method of the Winkler (1888), as described by Grasshoff *et al.* (1999); For the determination of total suspended solids (TSS), the suspended organic matter (MOS) and the dissolved silicate, the water samples were collected by launching the Go Flo Bottle and filtered on board. The TSS and MOS were determined by the gravimetric method, according to the methodology described by Strickland & Parsons (1968) e APHA (2001). The dissolved silicate didn't present any significant variation between the stations in 100% of light incidence, presenting average of 14,99 µmol L⁻¹. In the 50% penetration zone, the average was the 17,32 µmol L⁻¹, while at 1% of light incidence, the average found was 27.48 µmol L⁻¹. The higher values of dissolved silicate at 1% at light incidence may be related to the recycling of this nutrient, which end up supporting the primary production of diatoms in the photic zone of these oceanic waters and the lower values are probably related to the use of this nutrient by the organisms. The lower variations in the values of OD and MOS may be related with these degradations of the organic matter and the photosynthesis. The minimum and maximum OD values were, respectively, 6.28 and 8.45 mg L⁻¹ and for MOS were 1.23 and 5.78 mg L⁻¹ in PC-MA. According to the physical and chemical parameters studied, the results obtained showed characteristics of oceanic areas, showing the low influence of terrestrial contributions in the drought period of the region, besides typical behavior of low latitude regions. The dissolved silicate presented low concentrations in the superficial layer and a growth with the increase of the depth, being able to be associated to the greater consumption by the phytoplankton to the surface and with the degradation of the organic matter in the layers of 1 % of light incidence, that releases the nutrients again to the water column.

Key Words:

Biochemistry; Dissolved Silicate; Ocean waters; South Atlantic; Tropical environment.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	17
2.1. OBJETIVO GERAL	17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3. METODOLOGIA.....	18
3.1. ÁREA DE ESTUDO	18
3.2. RADIAL OCEANOGRÁFICA	20
3.3. AQUISIÇÃO DE DADOS	22
3.3.1. Amostragem de Água.....	23
3.3.2. Potencial Hidrogeniônico	24
3.3.3. Oxigênio Dissolvido	24
3.3.4. Totais de Sólidos Suspensos	24
3.3.5. Matéria Orgânica em Suspensão	25
3.3.6. Silicato Inorgânico Dissolvido	26
3.4. TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1. TEMPERATURA DA ÁGUA	31
4.2. SALINIDADE.....	32
4.3. POTENCIAL HIDROGENIÔNICO	33
4.4. OXIGÊNIO DISSOLVIDO.....	35
4.5. TOTAL DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO.....	37
4.6. MATÉRIA ORGÂNICA EM SUSPENSÃO	38
4.7. SILICATO DISSOLVIDO	39
4.8. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	41
5. CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema simplificado do ciclo biogeoquímico do Silício em ambiente aquático. (1) Assimilação; (2) Adsorção; (3) Deposição; (4) Ressuspensão; (5) Morte; (6) Degradação da Matéria Orgânica. Fonte: Adaptado de Eschrique (2011) e Bastos (2014).....	16
Figura 2. Navio Hidroceográfico Cruzeiro do Sul da Marinha de Guerra do Brasil. Fonte: Acervo/Comando do 3º Distrito Naval.	21
Figura 3. Localização das estações oceanográficas.....	22
Figura 4. Rossete com garrafas Go Flo e CTD Sea Bird.....	23
Figura 5. pHmetro para análise das amostras.	24
Figura 6. Procedimento de filtração das amostras para determinação de TSS.....	25
Figura 7. Distribuição espacial da (a) Temperatura (°C), (b) salinidade (g kg ⁻¹), (c) pH, (d) oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹), (e) porcentagem de saturação do OD (%), (f) sólidos totais em suspensão (mg L ⁻¹), (g) matéria orgânica em suspensão (mg L ⁻¹), (h) porcentagem de matéria orgânica (%) e (i) silicato dissolvido (μmol L ⁻¹) para cada uma das camadas de incidência de luz nas estações.....	29
Figura 8. Perfis verticais de (a) Temperatura (°C), (b) Salinidade (g kg ⁻¹), (c) pH, (d) Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹), (e) porcentagem de saturação do OD (%), (f) sólidos totais em suspensão (mg L ⁻¹), (g) matéria orgânica em suspensão (mg L ⁻¹), (h) porcentagem de matéria orgânica (%) e (i) silicato dissolvido (μmol L ⁻¹) em relação à profundidade do percentual de incidência de luz (%).	30
Figura 9. Biplot da Análise das Componentes Principais das variáveis físico e químicas.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Coordenadas geográficas das estações de coleta deste estudo.	21
Tabela 2. Estatística das propriedades físicas e químicas na profundidade de penetração de luz de 100%.	28
Tabela 3. Estatística das propriedades físicas e químicas na profundidade de penetração de luz de 50%.	28
Tabela 4. Estatística das propriedades físicas e químicas na profundidade de penetração de luz de 1%.	28
Tabela 5. Teste de Homogeneidade de Variâncias.	42
Tabela 6. Aplicação da ANOVA (<i>one-way</i>).	43
Tabela 7. Análise de comparações múltiplas.	43
Tabela 8. Estatísticas de teste ^{a,b}	43
Tabela 9. Estatística de teste para temperatura entre profundidades.	44

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

% Sat. OD Percentual em Oxigênio Dissolvido

%MOS Percentual de Matéria Orgânica

ACP Análise de Componentes Principais

Al Alumínio

ANA Agência Nacional de Águas

ANP Agência Nacional de Petróleo

C Carbono

CB Corrente do Brasil

CNB Corrente Norte do Brasil

CNPq Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CPBO Corrente Profunda de Borda Oeste

CTD Conductivity, Temperature and Depth

g Grama

H Hidrogênio

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IET Índice do Estado Trófico

IFETCE Instituto Federal Educação Técnica do Ceará

INCT/TMCOcean Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Transferência de Materiais Continente-Oceano

L Litro

LABCICLOS Laboratório de Biogeoquímica dos Constituintes Químicos da Água

mg Miligrama

MOS Matéria Orgânica em Suspensão

O Oxigênio

OD Oxigênio Dissolvido

PCMA Plataforma Continental do Maranhão

Pg Petagrama

pH Potencial Hidrogeniônico

QPC Quebra da Plataforma Continental

S Salinidade

SCNB Sub-corrente Norte do Brasil

Si Silício

SiB Silício Biogênico

SiD Silicato Dissolvido

SiL Silício Litogênico

T Temperatura da água

TSS Totais de Sólidos em Suspensão

UENF Universidade Estadual do Norte Fluminense

UFC Universidade Federal do Ceará

UFMA Universidade Federal do Maranhão

ZCIT Zona de Convergência Intertropical

Zf Zona Fótica

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais desafios em relação às atividades envolvendo o meio ambiente marinho é como conciliar o desenvolvimento de atividades econômicas ou de grande impacto social com o equilíbrio e/ou a preservação do meio marinho. Assim, a compreensão sobre a produção primária e os ciclos biogeoquímicos dos oceanos que evidentemente regem não só as variações climáticas de médio e longo prazos, mas também a disponibilidade de recursos vivos e não vivos, são necessários para criação de cenários de mitigação e adaptação de populações que vivem nas áreas costeiras ou que são dependentes dos recursos do mar; bem como, o diagnóstico, conservação e recuperação de ambientes naturais, incluindo seus recursos; a caracterização da manutenção e do controle do clima global; entre outros (HATJE; COSTA; CUNHA, 2013; SOUZA, 2014).

Os produtores primários constituem um reservatório fundamental de energia química da base da pirâmide trófica oceânica, uma vez que a energia concentrada durante a produção primária é consumida pelos organismos secundários do zooplâncton que irão alimentar os carnívoros, e assim por diante, até níveis superiores da pirâmide. Nos oceanos, a produção primária anual varia aproximadamente entre 35 e 50 Pg C ano⁻¹, cerca da metade da produção autotrófica total da biosfera terrestre (BRANDINI, 2015). Essa eficiência de um ecossistema marinho está relacionada com a dinâmica dos nutrientes e suas relações com processos físicos e biogeoquímicos, além disso, a produção primária é um dos estágios da ciclagem dos nutrientes, onde o carbono fixado, a princípio pela fotossíntese ou quimiossíntese, relaciona-se com esses nutrientes na formação de biomassa (THORNTON, 2012).

Por participarem da formação estrutural dos organismos ou diretamente nas funções energéticas, os elementos nitrogênio, fósforo e silício, estão entre os principais nutrientes necessários para a produção primária dos oceanos. Esses nutrientes são reciclados constantemente através dos seus ciclos biogeoquímicos, onde, a partir do Índice do Estado Trófico (IET) da avaliação da qualidade da água quanto ao enriquecimento, uma região ou massa de água podem ser classificadas como oligotrófica ($IET \leq 52$), mesotrófica ($52 < IET \leq 59$), eutrófica ($59 < IET$). Como exemplo, têm-se os grandes giros subtropicais dos oceanos como regiões oligotróficas por serem comumente pobres em nutrientes e os estuários e áreas de ressurgência como ambientes geralmente eutróficos, apresentando alta disponibilidade nutricional (ROSA; MESSIAS; AMBROZINI, 2003; GARRISON, 2010; CALIJURI; CUNHA, 2013; DAVIS; MASTEN, 2016; ARAÚJO; MENDONÇA; REIS, 2018).

O ciclo hidrológico tem papel fundamental na concentração desses nutrientes, onde o intemperismo atuante sobre matrizes rochosas faz com que os nutrientes sejam carregados para o oceano e como consequência disso, possui uma dinâmica direta nos ciclos biogeoquímicos na água oceânica e nas suas interfaces oceanográficas. Entretanto, diferente das regiões costeiras, onde ocorre essa fertilização pelos aportes fluviais e massas de águas ricas em nutrientes, as regiões oceânicas são geralmente classificadas como oligotróficas, onde a disponibilidade desses nutrientes está mais relacionada a fatores como a circulação oceânica, processos biológicos de absorção e remineralização, afundamento de fragmentos orgânicos ao longo da coluna de água e subsequente regeneração desses nutrientes (POSTMA, 1971; LALLI; PARSONS, 1997; GAETA; BRANDINI, 2006; NIENCHESKI, 2015).

As margens continentais, sendo a zona de transição entre os ambientes terrestres e oceânicos, desempenham papel bastante importante nas reações biogeoquímicas, responsáveis pela ciclagem dos nutrientes, por efeito da intensidade dos processos de transporte, interações biológicas e reações químicas. Fazem parte da margem continental do tipo Atlântico: (i) as plataformas continentais, que se estendem desde a linha de praia com declive suave até o início da quebra do talude continental; (ii) o talude continental, onde se tem uma mudança abrupta na declividade; (iii) e o sopé continental, que apresenta declividades intermediárias entre as observadas nas plataformas e nos taludes continentais. Após as margens continentais, encontram-se as bacias oceânicas, nessas zonas, haverá uma variação de produção primária de acordo com a distribuição de nutrientes, micronutrientes e temperatura adequada (TESSLER; MAHIQUES, 2009; BASTOS, 2014; CORRÊA; WESCHENFELDER, 2015).

As margens continentais são áreas importantes na ciclagem do silício por representar zonas de afundamento de sílica biogênica e corresponder ao local onde há retenção do aporte de SiD para os oceanos, isso ocorre devido à vários processos de transporte e intercâmbio que acontece nesses sistemas e que pode ser intensificado como consequência da complexa interação entre forçantes físicas e a geomorfologia de fundo, as quais variam tanto espacialmente, como temporalmente (RAGUENEAU et al., 2006; NIENCHESKI, 2015). Nas regiões oceânicas, a produção de silício biogênico (BSi) apresenta uma ordem de 260 Tmol Si ano⁻¹, onde a reciclagem de BSi produzida por diatomáceas é um processo vital, que sustenta uma fração significativa da produção primária. Quase 90% dessa produção global são recicladas dentro da coluna de água e os restantes 10% atingem os sedimentos do fundo, sendo que apenas cerca de 2% é incorporada ao sedimento. A eficiência com a qual o BSi se

dissolve, controla a disponibilidade desse nutriente na coluna de água e modula a exportação de carbono orgânico para o fundo dos oceanos (LOUCAIDES, 2009; BASTOS, 2014).

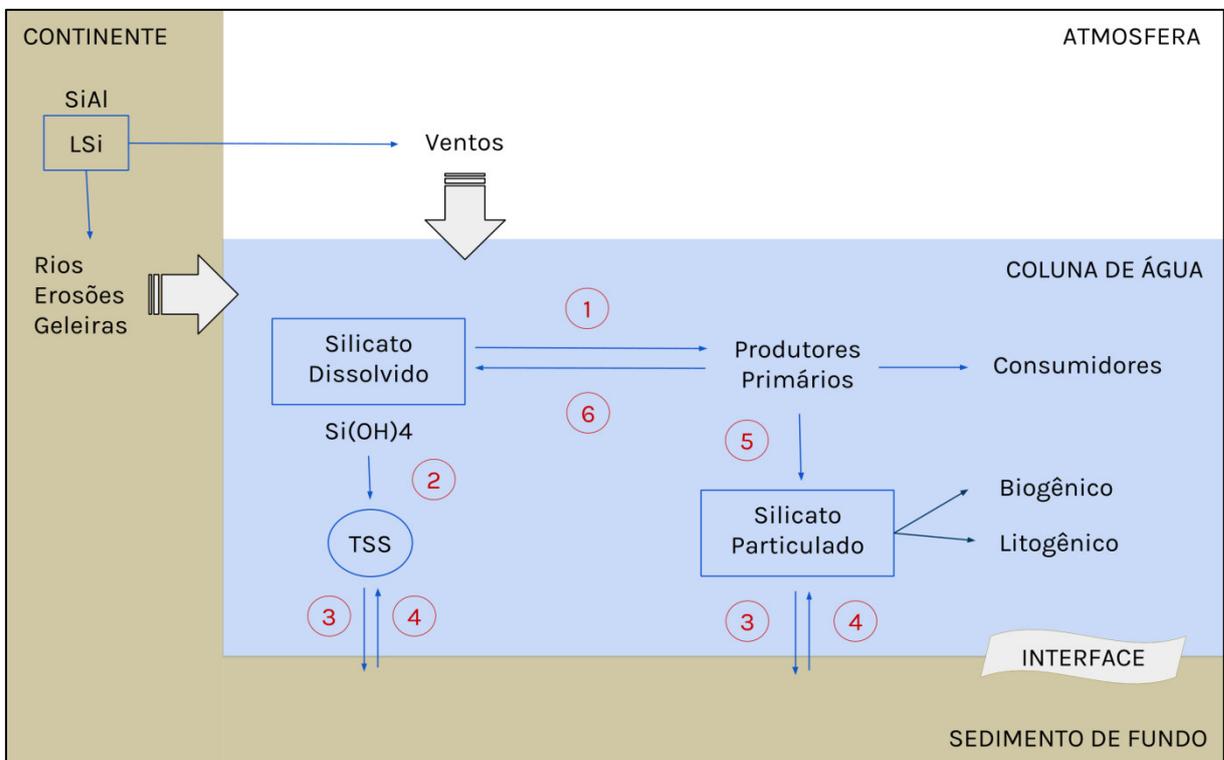
O silício fundamenta estruturas e processos geológicos, biológicos, antropológicos e econômicos, sendo um dos principais componentes de toda matéria viva desde sua origem. Considerando o ambiente marinho, é um importante nutriente para algumas espécies planctônicas, devido à sua utilização na composição de frústulas, espículas e outras estruturas. Esse nutriente tem grande importância na produção primária global em razão do controle que exerce sobre o crescimento de diatomáceas. Esses organismos autótrofos são responsáveis pela metade da produção primária oceânica global, conseqüentemente, têm grande importância na bomba biológica que sequestra CO₂ atmosférico, porém, são limitadas pela disponibilidade de silício dissolvido, por utilizarem o nutriente nessa forma para sintetizar suas frústulas (ITTEKKOT et al., 2012; LIBES, 2011; LOUCAIDES, 2009; LAZZERINI; BONOTTO, 2014; NIENCHESKI, 2015).

Os minerais de silicato são insumos para quase todos os setores econômicos e tipos de indústria: química, metalúrgica, automobilística, bélica, agregados de construção civil, cerâmica, farmacoscética, alimentícia, nutrição, saúde ambiental, nanomateriais, biotecnologia, etc. O quartzo puro é consumido, sob a forma de areias industriais, para construção civil ou gerando produtos finais de uso em diferentes áreas, inclusive associadas com o famoso “vale do silício”: elétrica, eletrônica, medicina, óptica, química, relojoaria, telecomunicações, novos materiais, fibra ótica, iluminação *led*, ultrassom e informática (LAZZERINI; BONOTTO, 2014).

Em contraste com os elementos limitantes fósforo e nitrogênio, nos locais com alta fertilidade, o silício resiste à viagem ao fundo do mar. Após a morte de organismos que utilizam silicato amorfa na constituição dos seus esqueletos, ocorre a dissolução das carapaças a medida que vão afundando e os restos dos organismos maiores e mais resistentes, ao se depositarem no fundo dos oceanos, formam as vasas silicosas. As regiões de afundamento de sílica amorfa são mais comuns em altas latitudes onde as águas são mais frias e as vasas de radiolários são mais típicas em regiões equatoriais, onde podem ocorrer ressurgência em decorrência do movimento de ascensão de águas ricas em nutrientes da subsuperfície, para superfície. Essa ressurgência equatorial acontece devido à divergência horizontal entre os dois hemisférios, ocasionada pela diferença da direção dos ventos alísios e transporte líquido de Ekman (LIBES, 2011; LAZZERINI; BONOTTO, 2014; CALLIARI, 2015).

Segundo Bastos (2014), o ciclo biogeoquímico do silício, compreende tanto sua fase dissolvida, como na forma de silicato dissolvido (SiD), quanto na sua fase particulada (partículas de tamanho maior que $0,45 \mu\text{m}$), nas formas litogênica (SiL) e biogênicas (SiB). Através de fontes naturais ou antrópicas, o nutriente adentra a coluna de água, envolvendo vários compartimentos e apresentando comportamentos diferentes em regiões costeiras e nas regiões oceânicas. Na figura 1 há uma simplificação do ciclo biogeoquímico do silício.

Figura 1. Esquema simplificado do ciclo biogeoquímico do Silício em ambiente aquático. (1) Assimilação; (2) Adsorção; (3) Deposição; (4) Ressuspensão; (5) Morte; (6) Degradação da Matéria Orgânica. Fonte: Adaptado de Eschrique (2011) e Bastos (2014).



A região oceânica atlântica equatorial, especificamente ao largo da Plataforma Continental do Maranhão é uma área ainda pouco estudada quando se trata da distribuição de nutrientes. As poucas pesquisas existentes estão relacionadas ao estudo da circulação das massas de água com modelos oceânicos globais, que não são suficientes para compreender as interações biogeoquímicas entre as regiões costeiras e oceânicas. Uma das grandes importâncias dessa região se dá ao fato de efetuar boa parte do transporte de calor e massa que ocorre entre os dois hemisférios, além disso, é onde ocorre uma grande dinâmica devido a

combinações de fatores, como o aporte de rios, dos ventos alísios e da influência da Corrente Norte do Brasil (CNB), que transporta grande volume de água para noroeste, paralelamente à costa (SILVA; ARAUJO; PINHEIRO, 2007).

Apesar das expressivas descargas fluviais ao longo das plataformas continentais das regiões tropicais e subtropicais, este material é geralmente diluído pelas águas tropicais de superfície das correntes oceânicas, e a dispersão das plumas estuarinas é restrita a uma faixa costeira estreita. Além disso, o início de uma zona de variação brusca de temperatura (termoclina) forma uma barreira que restringe o transporte de nutrientes das camadas inferiores, que são mais frias e ricas em nutrientes. Assim, devido à baixa concentração de nutrientes, essas regiões são consideradas oligotróficas, onde o suprimento de nutrientes inorgânicos para a camada fótica, que geralmente coincide com o início da termoclina, poderá limitar a produtividade primária (MONTES, 2003; PEREIRA; SOARES-GOMES, 2009).

A taxa de suprimento de nutrientes para a zona fótica (onde ocorre produção de matéria orgânica pelos autótrofos), acompanhado da disponibilidade luminosa, determina amplamente a produtividade biológica dos ambientes marinhos. Porém, esses nutrientes apresentam características distintas entre as regiões costeiras e as oceânicas (PIRES-VANIN, 2008; BASTOS, 2014). Sendo assim, são de grande importância os estudos direcionados à distribuição dos nutrientes e a sua disponibilidade nas águas superficiais, assim como o estudo da sua disponibilidade nas conexões entre as margens continentais e regiões oceânicas, entretanto, ainda são poucos os estudos direcionados a esse tema na região oceânica atlântica equatorial ao largo da Plataforma Continental do Maranhão.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho é analisar a distribuição de silicato dissolvido na zona fótica da região oceânica atlântica equatorial ao largo da Plataforma Continental do Estado do Maranhão.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Caracterizar as condições hidroquímicas da zona fótica da região oceânica atlântica equatorial, através do estudo das variáveis físicas e químicas da água: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidade (g kg^{-1}), oxigênio dissolvido (ml L^{-1}), pH, totais de sólidos suspensos (mg L^{-1}) e matéria orgânica em suspensão (mg L^{-1}).
- ✓ Relacionar os parâmetros físicos e químicos à distribuição horizontal e vertical de silicato inorgânico dissolvido ($\mu\text{mol L}^{-1}$) na zona fótica, a fim de identificar modificações na sua distribuição associadas a estas variáveis.

3. METODOLOGIA

3.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange a quebra da Plataforma Continental (QPC) do estado do Maranhão e suas conexões com a região oceânica atlântica equatorial. A Plataforma Continental no Maranhão (PCMA) possui uma superfície de $55,70 \text{ km}^2$ e está compartimentada entre a foz dos rios Gurupi e Parnaíba, sendo um ambiente complexo com grande amplitude de maré semidiurna (3,2 m). A PCMA possui um gradiente suave de 2° , sendo limitada pela isóbata de 90 m, com uma largura variada de 203 km, próximo ao rio Gurupi e 72 km após a baía do Tubarão. O talude continental é estreito e atinge profundidades que variam entre 1000 e 2000 m (LEÃO; MACHADO, 1989; GUALBERTO; EL-ROBRINI, 2006; EL-ROBRINI et al., 2006; PONTES, 2007; CUNHA; GUERRA, 2006).

O litoral maranhense pode ser subdividido em três partes bem distintas: i) o litoral ocidental, conhecido como as Reentrâncias Maranhenses; ii) o oriental, ocupado pelos Lençóis Maranhenses; iii) e o Golfão Maranhense, formado basicamente pelas Baías de São José (deságue do Rio Itapecuru) e de São Marcos (sistema Mearim/Pindaré/Grajaú), que são separadas pela Ilha de São Luís. Quando se trata da porção da plataforma continental ao largo do Estado do Maranhão, têm-se uma plataforma relativamente rasa com uma geomorfologia irregular, bem evidenciada pelos campos de bancos arenosos submersos e pelo Parcel Manuel Luís, assim como, por sua geometria irregular que apresenta um alargamento no sentido NW e a Depressão Maranhense (GUALBERTO, 2002; EL-ROBRINI et al., 2006; CASTRO; HUBER, 2012; AGUIAR, 2014). De acordo com o estudo dos autores Gualberto e El-

Robrini (2006), a cobertura sedimentar superficial da Plataforma Continental do Maranhão constata um domínio terrígeno e carbonático.

Na PCMA, durante o período de estiagem, encontra-se apenas a Água Tropical (que apresenta temperaturas entre 26,60 e 28,70°C, e salinidades entre 36,20 e 37,27 g kg⁻¹) e no período chuvoso, são observadas: a Água Costeira (26,00 a 28,87°C de temperatura e valores \leq 34,00 g kg⁻¹ de salinidade), Tropical (temperaturas $>$ 18,00°C e salinidades $>$ 36,00 g kg⁻¹) e Central do Atlântico Sul (temperaturas entre 5,95 e 18,35°C e salinidades de 34,52 a 36,40 g kg⁻¹). Em profundidades maiores, a primeira massa de água encontrada, da superfície ao fundo, é a Água Tropical, em seguida é registrada a presença da Água Central do Atlântico Sul, transportada para a região de estudo pela Corrente Norte do Brasil (CNB) e Sub-Corrente Norte do Brasil (SCNB). No intervalo de 500 m a cerca de 1200 m de profundidade, encontra-se a Água Intermediária Antártica (mínimo de salinidade de 34,5 g kg⁻¹ e temperaturas entre 2 e 4°C) (SILVA; ARAÚJO; BOURLÈS, 2005; BRASIL, 2006; PONTES, 2007).

Em relação ao aporte fluvial, na região costeira ao largo da PCMA há destaque para três sistemas de descargas fluviais, sendo eles: i) as dos rios amazônicos, com ressaltos para o Rio Amazonas, que pode alcançar centenas de quilômetros em direção ao mar aberto, mais de 1000 km em direção ao noroeste e também em direção ao nordeste; ii) o Golfão Maranhense, um complexo estuarino com deságue mais expressivo dos rios Pindaré, Grajaú, Mearim e Itapecuru; iii) e o Delta do Parnaíba, onde o principal afluente a desembocar na região é o Rio Parnaíba, que por não ser um rio de grande magnitude, acaba não provocando modificações consideráveis nas características físicas e químicas do mar adjacente, principalmente ao longo da plataforma externa (GUALBERTO; EL-ROBRINI, 2006; SILVA; ARAUJO; PINHEIRO, 2007; SOUZA FILHO, 2007).

Ao longo da costa norte brasileira atua em superfície a CNB, transportando águas quentes e salinas do hemisfério sul em direção ao noroeste. A Corrente Sul Equatorial (CSE), que corre em direção ao continente sul-americano, ao se aproximar da costa, bifurca-se dando origem à Corrente do Brasil (CB), que flui para o sul, e a CNB, que vai para o norte. Em profundidade, as águas frias formadas no Atlântico Norte transitam em direção ao sul, via a Corrente Profunda de Borda Oeste (CPBO) (SILVA; ARAUJO; PINHEIRO, 2007; RODRIGUES, 2015).

Em relação à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a migração sazonal, em anos considerados normais, de sua posição mais ao norte (agosto-setembro) para sua posição mais

ao sul (março-abril), associada a fatores que causam fortalecimento e enfraquecimento dos ventos alísios de nordeste e de sudeste, tem papel importante na determinação da estação chuvosa do norte da região nordeste. Dessa forma, verifica-se que durante os meses de janeiro a junho (período chuvoso) são observadas chuvas mais intensas e com maior frequência. Os meses de setembro a novembro, que caracterizam o período de estiagem, são marcados por menores taxas de precipitações (SILVA, 2006; MELO; CAVALCANTE; SOUZA, 2009).

Associadas à variabilidade da ZCIT, a ação do estresse eólico na área de estudo é menos intensa de dezembro a maio, com ventos fluindo de nordeste, onde trazem massas de ar que ocasionam o período chuvoso da região. Incidindo quase que perpendicularmente à costa, a velocidade máxima dos ventos atingem em média de 10 m s^{-1} , sendo que, nos meses de outubro a dezembro estes ventos são mais intensos e sopram preferencialmente do quadrante leste e sudeste que provocam o período de estiagem da região (GEYER et al., 1996; SILVA, 2006; BRASIL, 2006; DIAS, 2011).

3.2. RADIAL OCEANOGRÁFICA

As coletas foram realizadas a bordo do Navio Hidroceanográfico Cruzeiro do Sul da Marinha de Guerra do Brasil (Figura 2), em setembro de 2014, durante o período de estiagem característico dos estados do nordeste brasileiro. As amostragens foram executadas em uma radial oceanográfica apresentando quatro estações oceanográficas (Figura 3) perpendiculares à costa do Estado do Maranhão, sobre a região oceânica atlântica equatorial. As amostras foram obtidas no âmbito do projeto Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Transferência de Materiais Continente-Oceano (INCT/TMCOcean), com financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq – Processo: Nº 573.601/2008-9) e apoio científico das Universidades Federais do Ceará (UFC) e do Maranhão (UFMA), da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) e do Instituto Federal de Educação Técnica do Ceará (IFETCE). Na tabela 1 encontram-se as coordenadas das estações oceanográficas.

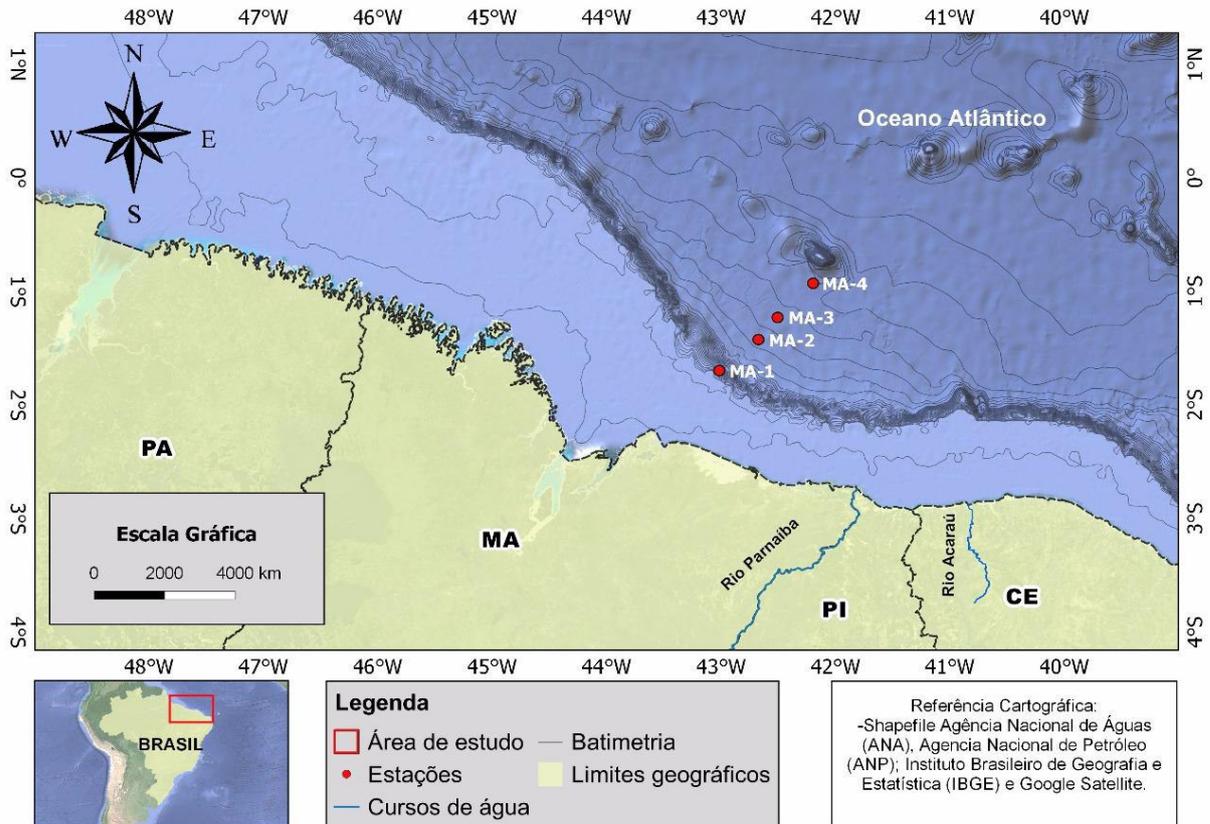
Tabela 1. Coordenadas geográficas das estações de coleta deste estudo.

<i>Estação</i>	<i>Coordenadas</i>	
	<i>Latitude (S)</i>	<i>Longitude (O)</i>
1	01° 41' 7''	43° 00' 3''
2	01° 25' 4''	42° 41' 9''
3	01° 13' 1''	42° 30' 8''
4	00° 55' 7''	42° 11' 9''

Figura 2. Navio Hidroceanográfico Cruzeiro do Sul da Marinha de Guerra do Brasil.
 Fonte: Acervo/Comando do 3° Distrito Naval.



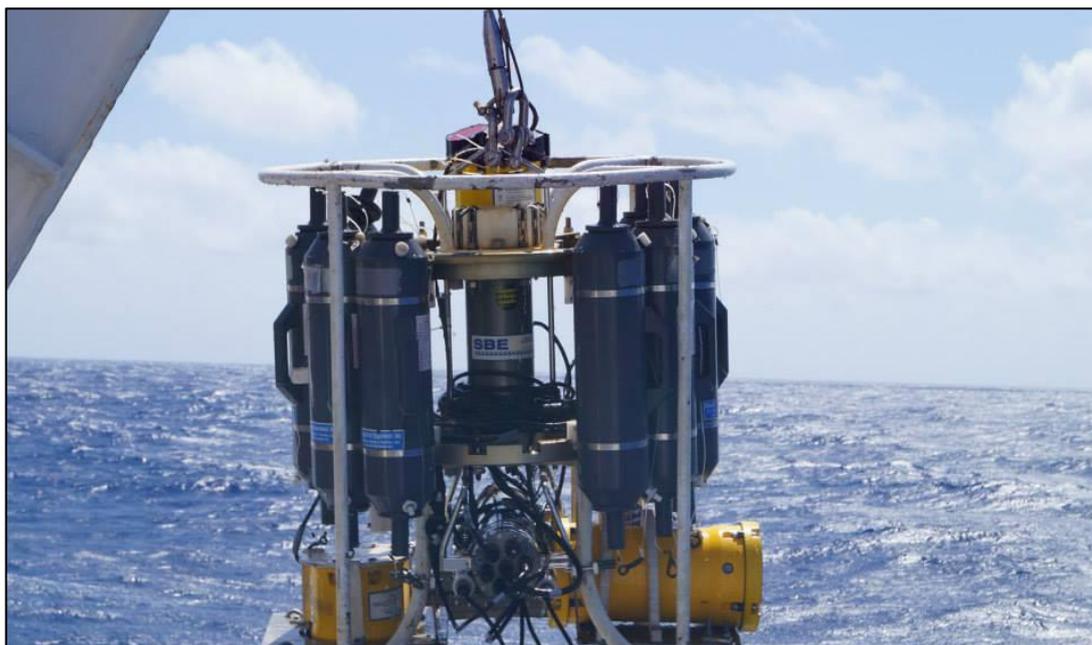
Figura 3. Localização das estações oceanográficas.



3.3. AQUISIÇÃO DE DADOS

As variáveis salinidade (S), temperatura da água (T), profundidade da lâmina de água e profundidade de coleta foram obtidos diretamente através do CTD *Seabird 911* instalados em um rosete e acompanhado pelas garrafas tipo *Go Flo* General Oceanics® para coleta de água (Figura 4).

Figura 4. Rossete com garrafas Go Flo e CTD Sea Bird.



3.3.1. Amostragem de Água

As amostras de água foram coletadas em três profundidades ao longo do perfil vertical da coluna de água, nas profundidades de 100% (Zf-100%), 50% (Zf-50%) e 1% (Zf-1%) de penetração de luz, que foram determinadas pelo sensor de oxigênio da marinha, que estava adaptado à rosette. A bordo da embarcação e imediatamente após a amostragem, foram realizadas as seguintes atividades: análises para determinação da concentração de oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH); filtração de amostras de água para totais de sólidos suspensos (TSS), matéria orgânica em suspensão (MOS) e silicato inorgânico dissolvido (SiD).

Os filtros utilizados para a filtração de água foram utilizados para as determinações de TSS e MOS e a água filtrada para determinação de SiD. Tanto a água como os filtros foram congelados para posterior determinações no Laboratório de Biogeoquímica dos Constituintes Químicos da Água (LABCICLOS) da UFMA.

3.3.2. *Potencial Hidrogeniônico*

O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado com o auxílio do pHmetro *METROHM 826*, calibrado com soluções de rápida calibração com valores de pH 4,0, 7,0 e 10,0 (Figura 5).

Figura 5. pHmetro para análise das amostras.



3.3.3. *Oxigênio Dissolvido*

A concentração de oxigênio dissolvido (OD) foi determinada pelo método analítico de Winkler (1888), conforme descrito por Grasshoff, Kremling e Ehrhardt (1999), de precisões de $\pm 0,02 \text{ cm}^3 \text{ dm}^3$ para teores de $2 \text{ cm}^3 \text{ dm}^3$, e de $\pm 0,04 \text{ cm}^3 \text{ dm}^3$ para teores superiores. A partir das concentrações de OD encontradas por esse método e com auxílio da tabela da Aminot e Chaussepied (1983), que correlaciona temperatura e salinidade com OD, foi obtido o percentual em Oxigênio Dissolvido (% Sat. OD).

3.3.4. *Totais de Sólidos Suspensos*

A determinação quantitativa de totais de sólidos suspensos (TSS) foi analisada a partir das metodologias gravimétricas descritas por Strickland e Parsons (1972) e APHA (2001), onde as amostras foram filtradas em filtro de fibra de vidro Merck Millipore® de diâmetro de 47 mm, devidamente tratados e identificados (Figura 6). Após filtração, esses são secos por 1 hora a $60 \text{ }^\circ\text{C}$, resfriados em dessecador e pesados em balança analítica com precisão de

$\pm 0,0001$ g, da marca Bel Engineering®. A quantidade de sólidos totais em suspensão (mg L^{-1}) é dada pela diferença entre o peso final e o peso inicial, conforme a equação a seguir:

Equação 1

$$TSS (\text{mg L}^{-1}) = \frac{(B - A) \times 1000}{VOLUME DA AMOSTRA (\text{mL})}$$

Onde:

A = peso do filtro (mg);

B = peso do filtro + resíduo seco (mg).

Figura 6. Procedimento de filtração das amostras para determinação de TSS.



3.3.5. *Matéria Orgânica em Suspensão*

Para determinação quantitativa da matéria orgânica em suspensão (MOS) foi utilizado a metodologia gravimétrica descrita por Strickland & Parsons (1968). Método que consiste em calcinar os filtros, após procedimento do TSS, em forno mufla a 550°C por um período de 4h, em seguida, alojadas em dessecador para resfriamento, para quando em temperatura ambiente, ser feito a pesagem na balança analítica com precisão de $\pm 0,0001$ g, da marca Bel

Engineering®. Esse procedimento é realizado até que o filtro apresente peso constante. A diferença entre o peso do filtro antes da calcinação e o resíduo da calcinação é a representação da matéria orgânica volatizada. A partir desses dados foi possível a obtenção do percentual da matéria orgânica.

Equação 2

$$MOS (mg L^{-1}) = \frac{(B - C) \times 1000}{VOLUME DA AMOSTRA (mL)}$$

Onde:

B = peso do filtro + resíduo seco antes da ignição (mg).

C = peso do filtro + resíduo seco depois da ignição (mg).

3.3.6. *Silicato Inorgânico Dissolvido*

O silicato dissolvido (SiD) foi determinado por método colorimétrico manual, utilizando-se a metodologia de Grasshoff et al. (1999). As leituras de absorvâncias foram realizadas no comprimento de 810 nm, no espectrofotômetro da marca Cary-300 UV®, com método apresentando precisão de + 4 % em 4,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$, + 2,5 em 0,9 $\mu\text{mol L}^{-1}$ e + 6 % em 150 $\mu\text{mol L}^{-1}$.

3.4. TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Os dados obtidos foram organizados em planilhas para permitir a elaboração de gráficos para melhor visualização da distribuição vertical e horizontal dos parâmetros físicos e químicos medidos na área de estudo. As variáveis físicas e químicas foram expressas como média, desvio padrão, valores mínimos e máximos determinados para cada profundidade de coleta. A relação entre essas variáveis e as profundidades de coleta (Zf-100%, 50% e 1%) também foram avaliadas. Para determinar a normalidade das amostras foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra e para o teste de homogeneidade de variâncias a estatística de Levene. Para dados com variâncias iguais, a análise de variância one-way (ANOVA) foi utilizada para as comparações espaciais das variáveis. Nos casos em que a hipótese nula de variância foi rejeitada, foi aplicado o teste de Tukey (comparações múltiplas)

para identificar quais pares de médias diferiam significativamente. Para os dados com variâncias desiguais, as comparações espaciais foram feitas utilizando o teste de Kruskal-Wallis (H), seguido do teste U de Mann-Whitney, quando a hipótese nula foi rejeitada. A análise de componentes principais (ACP) foi utilizada para identificar os principais componentes responsáveis pelas variações nos dados. As análises estatísticas foram avaliadas para um nível de significância crítica de $\alpha = 0,05$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidade (g kg^{-1}), oxigênio dissolvido (mg L^{-1}), porcentagem de saturação do OD (%), pH, sólidos totais em suspensão (mg L^{-1}), matéria orgânica em suspensão (mg L^{-1}), porcentagem de matéria orgânica (%) e silicato dissolvido ($\mu\text{mol L}^{-1}$), estão descritos nas tabelas 2, 3 e 4, em forma estatisticamente tratados. Os gráficos da distribuição espacial e perfis verticais estão demonstrados, respectivamente, nas figuras 7 e 8.

A camada fótica ocupou os 180 m da superfície da coluna de água nas estações 1 e 3, 170 m na estação 4 e 220 m na estação 2. A Zf-50% da estação 1 foi mais rasa, atingindo 50 m de profundidade, visto que foi a estação com menor profundidade da coluna de água (750 m). A Zf-50% da estação 2 foi a mais profunda, com 220 m e nas outras estações atingiu 115 m, com profundidade da coluna de água de 3.433 m na estação 4, 3.063 m na estação 3 e 2.808 m na estação 2.

Tabela 2. Estatística das propriedades físicas e químicas na profundidade de penetração de luz de 100%.

	<i>Temperatura</i> (°C)	<i>Salinidade</i> (g kg ⁻¹)	<i>O.D</i> (mg L ⁻¹)	<i>Sat. O.D</i> (%)	<i>pH</i>	<i>TSS</i> (mg L ⁻¹)	<i>MOS</i> (mg L ⁻¹)	<i>MOS</i> (%)	<i>Silicato</i> (μmol L ⁻¹)
<i>Mínimo</i>	26,78	36,23	6,63	146	8,13	2,93	1,23	34,88	2,95
<i>Máximo</i>	26,84	36,27	7,46	164	8,17	5,73	2,40	54,14	5,41
<i>Média</i>	26,81	36,24	7,10	156	8,15	4,12	1,73	42,38	3,75
<i>Desvio Padrão</i>	0,03	0,02	0,42	9	0,02	1,24	0,56	8,36	1,12

Tabela 3. Estatística das propriedades físicas e químicas na profundidade de penetração de luz de 50%.

	<i>Temperatura</i> (°C)	<i>Salinidade</i> (g kg ⁻¹)	<i>O.D</i> (mg L ⁻¹)	<i>Sat. O.D</i> (%)	<i>pH</i>	<i>TSS</i> (mg L ⁻¹)	<i>MOS</i> (mg L ⁻¹)	<i>MOS</i> (%)	<i>Silicato</i> (μmol L ⁻¹)
<i>Mínimo</i>	24,66	36,26	6,54	142	8,13	4,62	1,25	27,08	2,37
<i>Máximo</i>	26,78	36,83	7,66	162	8,17	7,70	5,78	75,16	5,63
<i>Média</i>	26,00	36,49	7,01	152	8,16	5,88	2,86	45,02	4,33
<i>Desvio Padrão</i>	0,98	0,26	0,47	8	0,02	1,36	2,05	21,40	1,57

Tabela 4. Estatística das propriedades físicas e químicas na profundidade de penetração de luz de 1%.

	<i>Temperatura</i> (°C)	<i>Salinidade</i> (g kg ⁻¹)	<i>O.D</i> (mg L ⁻¹)	<i>Sat. O.D</i> (%)	<i>pH</i>	<i>TSS</i> (mg L ⁻¹)	<i>MOS</i> (mg L ⁻¹)	<i>MOS</i> (%)	<i>Silicato</i> (μmol L ⁻¹)
<i>Mínimo</i>	13,42	35,33	6,43	118	7,97	3,27	1,39	36,07	3,47
<i>Máximo</i>	17,10	36,61	8,23	146	8,05	7,99	2,97	42,65	9,35
<i>Média</i>	15,47	35,83	7,33	131	8,02	5,37	2,05	38,96	6,87
<i>Desvio Padrão</i>	1,71	0,57	0,81	11	0,03	2,07	0,68	2,97	2,75

Figura 7. Distribuição espacial da (a) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), (b) salinidade (g kg^{-1}), (c) pH, (d) oxigênio dissolvido (mg L^{-1}), (e) porcentagem de saturação do OD (%), (f) sólidos totais em suspensão (mg L^{-1}), (g) matéria orgânica em suspensão (mg L^{-1}), (h) porcentagem de matéria orgânica (%) e (i) silicato dissolvido ($\mu\text{mol L}^{-1}$) para cada uma das camadas de incidência de luz nas estações.

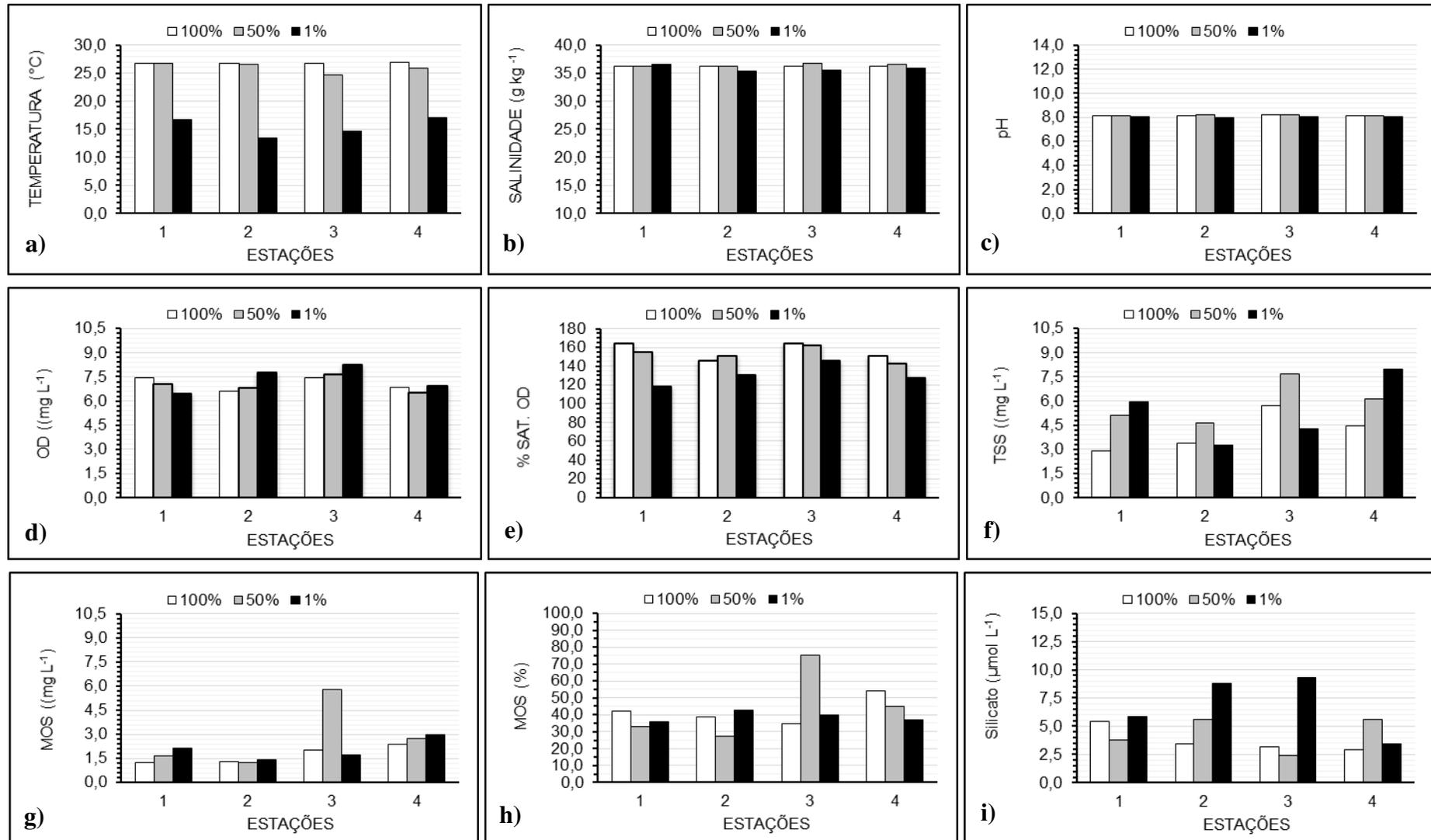
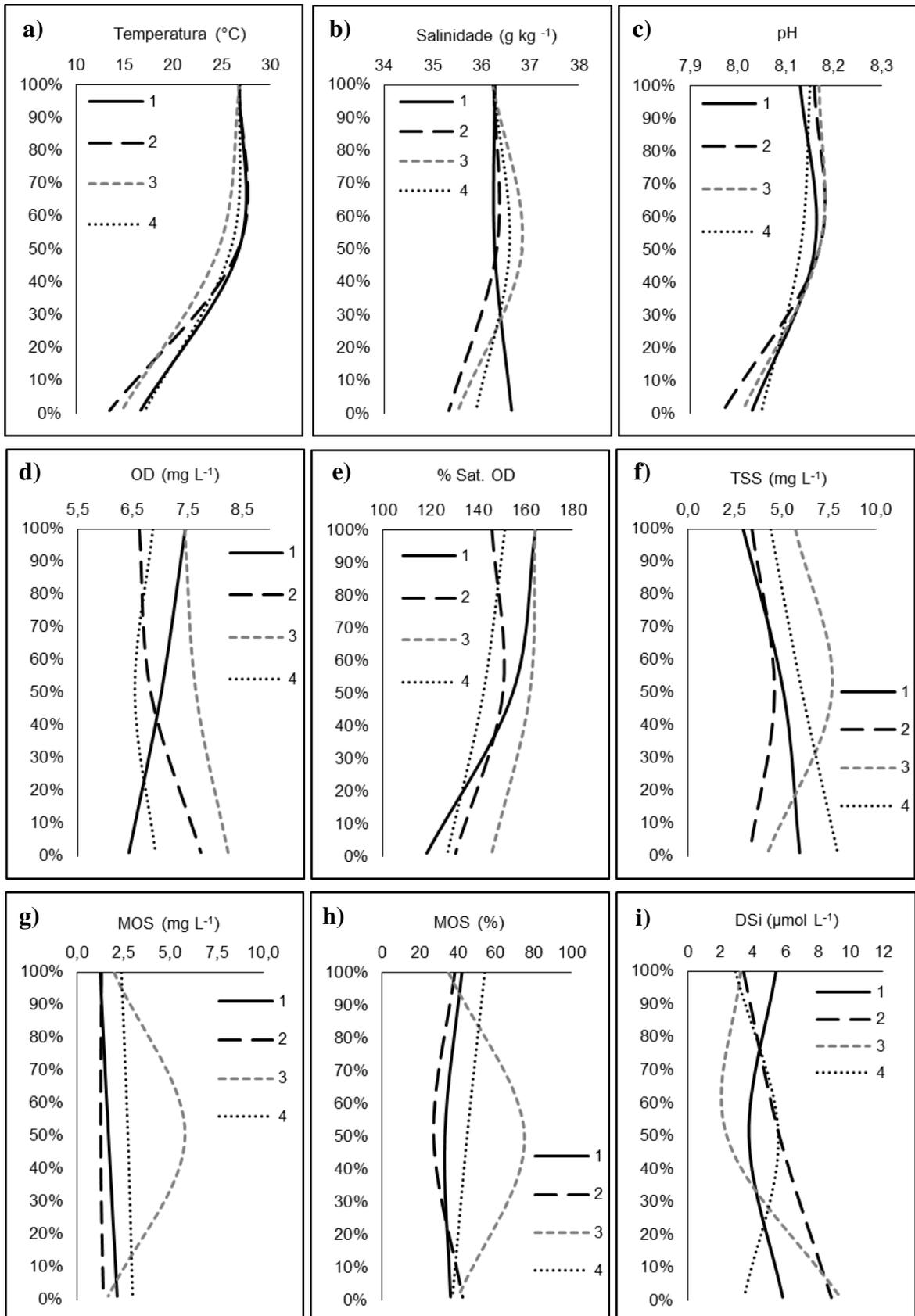


Figura 8. Perfis verticais de (a) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), (b) Salinidade (g kg^{-1}), (c) pH, (d) Oxigênio dissolvido (mg L^{-1}), (e) porcentagem de saturação do OD (%), (f) sólidos totais em suspensão (mg L^{-1}), (g) matéria orgânica em suspensão (mg L^{-1}), (h) porcentagem de matéria orgânica (%) e (i) silicato dissolvido ($\mu\text{mol L}^{-1}$) em relação à profundidade do percentual de incidência de luz (%).



4.1. TEMPERATURA DA ÁGUA

Na distribuição horizontal, a Zf-100% teve registro de temperatura média de 26,81°C e uma amplitude térmica de 0,06°C entre as estações. Na Zf-50% o valor mínimo e máximo foram, respectivamente, 24,66 e 26,78°C, onde o menor valor foi observado na estação 3 e o maior valor na estação 1, isto é, apresentando temperaturas maiores nas estações mais rasas e próximas da costa. Quanto a Zf-1%, ocorreu o registro dos menores valores de temperatura, com mínimo de 13,42°C na estação 2 e máximo de 17,10°C na estação 4. Esses valores estão relacionados ao menor valor da precipitação da região costeira na época do estudo e da diluição das plumas estuarinas ao longo da Plataforma Continental, fazendo com que não haja influência estuarina nas massas de água das estações mais distante da costa. Além disso, nota-se o domínio de águas oceânicas com valores mais baixos de temperatura (SCHWAMBORN et al., 1999; SILVA; ARAUJO; PINHEIRO, 2007).

Considerando a distribuição vertical, observa-se que os perfis apresentaram um comportamento semelhante nas camadas da zona fótica, onde há uma distribuição conservativa da Zf-100% até a Zf-50% e então uma suave diminuição dos valores até a Zf-1%. A estação 2 apresentou uma amplitude maior que à das outras estações entre a Zf-50% (26,66°C) e a Zf-1% (13,42°C), sendo esse último o valor mínimo de temperatura registrado na área de estudo. Esses dados demonstram um comportamento típico de regiões tropicais, onde, a intensa radiação solar da região equatorial, ocasiona valores elevados de temperatura na zona fótica e com o aumento da profundidade esses valores vão diminuindo, fazendo com que ocorra um pequeno gradiente térmico e uma estrutura termohalina bastante estável (OKUDA; CAVALCANTI, 1963; BECKER, 2001; FREITAS, 2003; MONTES, 2003; BOMVENTI; WAINER; TASCHETTO, 2006).

Ao analisar os estudos anteriores da área de estudo do presente trabalho e das áreas adjacentes, nota-se que os autores corroboram com o presente trabalho. Okuda e Cavalcante (1963), em setembro de 1960, nas áreas adjacentes ao Nordeste do Brasil verificaram uma variação de temperatura entre 25 a 15°C. Freitas (2003), em seus estudos sobre a região da Zona Econômica Exclusiva do Nordeste do Brasil encontrou no Inverno de 1995 valores de temperatura para superfície do mar de 25,49 a 27,77°C e em 200 m de profundidade 10,89 a 19,12°C. Na primavera de 2000, os valores foram 25,25 a 27,54°C para a superfície e de 10,69 a 20,47°C, para os 200 metros. Lessa et al. (1999) e Becker (2001) estudaram as regiões dos bancos e ilhas oceânicas nordestinas e áreas adjacentes. A primeira autora ao analisar a temperatura com a intenção de correlacionar com a abundância das espécies estudadas

encontrou temperaturas de 27,23 a 28,73°C em Fernando de Noronha, 27,06 a 28,27°C nos arquipélagos de São Pedro e São Paulo nas Cadeias Norte do Brasil 27,89 a 29,08°C. Enquanto Becker encontrou em seus estudos valores semelhantes também, no verão de 1997 e outono de 1998, obteve respectivamente, médias de temperatura superficial do mar de 27,68 e 28,08°C. Enquanto na Zf-50% as médias foram de 27,62 e 28,07°C e na Zf-1% 26,17 e 26,09°C.

Schwamborn et al. (1999), ao estudar a contribuição das larvas de decápodes estuarinas para as comunidades de zooplâncton marinho no nordeste do Brasil, encontrou valores de temperatura um pouco mais elevadas na superfície, com valores de 28 a 29°C na superfície caindo para 18°C na parte inferior da termoclina. Silva (2007), ao analisar a variabilidade sazonal da temperatura na PCMA e área oceânica adjacente, em Novembro do ano de 1997, também encontrou valores um pouco mais elevados que o presente trabalho, com temperatura superficial da coluna de água em torno de 28,5°C nas estações localizadas próximo da costa, porém para as estações mais distantes encontrou valores semelhantes a esse estudo, valor médio de 27,6°C.

4.2. SALINIDADE

Na Zf-100% e Zf-50% a salinidade se apresentou homogênea, onde as médias nessas zonas de incidência solar foram, respectivamente, de 36,24 e 36,49 g kg⁻¹. A salinidade na ZF-1% apresentou uma variação de 1,28 g kg⁻¹ com maior valor na estação 1 (36,61 g kg⁻¹), enquanto na estação 2 (35,33 g kg⁻¹) apresentou o menor valor. Esses valores são típicos de água puramente oceânicas, dependendo de diversos fatores de natureza meteorológica, topográfica e de aportes fluviais. Na área de estudo, esses valores de salinidades ocorrem devido à grande taxa de evaporação na região e o domínio de água salina (MONTES, 2003; PONTES; EL-ROBRINI, 2008).

As estações mais distantes da costa apresentaram comportamento semelhante e inverso ao da estação 1. Tendo em vista a distribuição vertical, na estação 1 a salinidade apresentou distribuição vertical homogênea entre a Zf-100% e a Zf-50% e então houve um aumento progressivo até a Zf-1%. As outras estações tiveram um aumento gradual de salinidade da Zf-100% até a Zf-50% e após essa camada tem uma pequena diminuição de seus valores até a Zf-1%. Portanto, distingue-se que em águas mais rasas e costeiras há valores mais altos de salinidade, provavelmente devido ao aquecimento da água, que pode ocasionar maiores taxas

de evaporação, assim, aumentando as concentrações de sais na coluna de água (SILVA, 2006; PONTES; EL-ROBRINI, 2008).

Silva (2007), ao estudar a salinidade na PCMA e área oceânica adjacente em Novembro do ano de 1997, observou valores entre 36,6 e 36,8 g kg⁻¹ na superfície do mar, corroborando com os dados do presente trabalho. Ele concluiu que houve a presença de água oceânica e núcleos de máxima salinidade. Os valores encontrados por Pontes e El-Robrini (2008), no estudo sobre massa de água da PCMA no período seco também permaneceram de 36 e 37 g kg⁻¹. Aguiar (2014), em seu trabalho sobre a Plataforma Nordeste Equatorial do Brasil encontrou valores de salinidade um pouco menores, com mínima de 31,4 g kg⁻¹ e máxima de 36,0 g kg⁻¹. Freitas (2003), na região da Zona Econômica Exclusiva do Nordeste do Brasil encontrou, em 1995, salinidade superficial superior a 36,19 g kg⁻¹ e em 200 metros de profundidade foram 35,34 g kg⁻¹, enquanto que em 2000 os valores de salinidade foram de 36,65 g kg⁻¹ e nos 200 metros, 36,49 g kg⁻¹.

Mafalda Junior, Cardoso e Souza (2016), ao estudar a influência das condições oceanográficas nos padrões espaciais e temporais de larvas de Pleuronectiformes (Teleostei) no Oceano Atlântico Equatorial, também encontraram valores superiores a 36 g kg⁻¹, onde também concluiu como características de regiões equatoriais. Assim como as análises de temperatura, Lessa *et al.* (1999), ao estudar a salinidade com a intenção de correlacionar com a abundância das espécies estudadas, encontrou salinidade de 35,75 a 36,48 g kg⁻¹ em Fernando de Noronha, 34,13 a 35,74 g kg⁻¹ nos arquipélagos de São Pedro e São Paulo nas Cadeias Norte do Brasil 35,65 a 36,58 g kg⁻¹. Enquanto Becker (2001) encontrou em seus estudos do verão de 1997 e do outono de 1998, respectivamente, medias de salinidade superficial do mar de 35,89 e 36,12 g kg⁻¹. Enquanto na Zf-50% as médias foram de 35,90 e 36,12 g kg⁻¹ e na Zf-1% 35,98 e 36,38 g kg⁻¹, o autor concluiu houve um aumento gradativo de salinidade até um valor máximo e então uma diminuição rápida nas camadas mais profundas.

4.3. POTENCIAL HIDROGENIÔNICO

De acordo com Aguiar (2014), o pH nos permite qualificar as águas em acidez ou basicidade. No presente estudo, todos os valores encontrados são típicos de ambiente marinho, que varia na faixa de 7,4 - 8,5, uma vez que diferente das regiões em que há águas estagnadas, os oceanos não são áreas ricas em matéria orgânica e com grande variação de ácidos

orgânicos e inorgânicos fazendo com que não sejam águas ácidas (DICKSON; MILLERO, 1987; ESCHRIQUE, 2011). Na Zf-100% a média do pH foi de 8,15 com menor valor de 8,13 na estação 1 e maior valor na estação 3, com 8,17. Como essa camada, encontra-se em contato direto com o ar, provavelmente variam de acordo com a temperatura, salinidade e pressão parcial do dióxido de carbono na atmosfera (MONTES, 2003). Quanto a Zf-50%, a média de 8,16, o menor valor foi na estação mais distante da costa (estação 4) com o valor de 8,13 e os maiores valores foram registrados nas estações 2 e 3, com 8,17. A Zf-1% apresentou média de 8,02, onde o menor valor de 7,97 foi encontrado na estação 2 e o maior na estação 4, com pH de 8,05, essa camada da zona fótica apresentou os menores valores em todas as estações de coleta, uma vez que o pH diminui com o decréscimo da temperatura e o aumento da pressão hidrostática; pela diminuição ao mesmo tempo, da formação de carbonatos e bicarbonatos com o aumento da profundidade e da concentração de CO₂ dissolvido na água (MONTES, 2003).

Hatje (2013) e Niencheski (2015) apontam que as mudanças dos valores de pH em regiões oceânicas só ocorrem em escala de centenas ou milhares de anos, dependendo de diversos fatores como a precipitação de carbonatos ou a dissolução de íons bicarbonatos e/ou pela saturação do dióxido de carbono. Por conseguinte, os perfis verticais de pH demonstram um comportamento semelhante entre as estações 1, 2 e 3. Essas estações mais próximas da costa apresentaram um acréscimo de pH até a Zf-50%, e após isso, há uma diminuição gradual, sendo que, a estação 1 apresentou um aumento mais acentuado da Zf-100% até a Zf-50%. Diferente das outras estações, a estação 4, que se encontra mais distante da costa, apresentou um comportamento conservativo entre a Zf-100% e Zf-50% e uma pequena diminuição até a Zf-1%. Constata-se que na estação mais distante da costa o pH apresentou valores maiores na ZF-100%, enquanto nas outras estações o pH foi mais elevado na Zf-50%. Quando considerado os fatores que influenciam nessa distribuição, estão os processos de fotossíntese, desnitrificação e redução do sulfato, onde aumentam o valor do pH, e a respiração e nitrificação que diminuem seu valor (MONTES, 2003; BECKER, 2011).

Outros estudos corroboram com estes dados, onde os valores de pH se mantiveram sempre alcalinos e seguiram o modelo de variação das massas oceânicas, com um perfeito efeito tampão, principalmente na camada superficial. Aguiar (2014), em seu trabalho sobre a Plataforma Nordeste Equatorial do Brasil encontrou como média dos valores de pH de 8,2. Becker (2011), também encontrou valores corroborando com os estudos do presente trabalho e de Aguiar (2014), onde, em outubro de 1998, obteve 8,17 nas águas superficiais, sendo que

na Zf-50% o pH encontrado foi de 8,16 e na Zf-1% o valor foi de 8,13. Quanto a Montes (2003), ao analisar a região oceânica do nordeste brasileiro, obteve, na coluna de água, pH de valor mínimo de 7,04. Outro autor que estudou o pH em águas salinas, foi Siqueira et al. (2003), onde também encontrou valores alcalinos, variando de 7,7 para 8,5 na superfície, e nas camadas mais profundas de 8,0 a 8,2. Esse último autor associou os valores aos carbonatos presentes no ambiente de estudo (águas sobrejacentes a Plataforma Continental do Amazonas).

4.4. OXIGÊNIO DISSOLVIDO

O oxigênio dissolvido (OD) é o gás dissolvido na água do mar mais usado para caracterização da água, e isso se deve por ele ser um dos mais importantes gases que impulsiona os processos biogeoquímicos nos oceanos (BECKER, 2001; SIQUEIRA et al. 2003; AGUIAR, 2014). Nesse trabalho todas as amostras apresentaram hipersaturação de oxigênio (>100%), mostrando-se assim bastante oxigenadas. Essa alta disponibilidade de oxigênio indica baixa demanda de oxigênio e baixa taxa de atividade trófica na área (BECKER, 2011). Quanto a Zf-100%, o menor % Sat. OD foi na estação 2, com 146% e maiores tanto na estação 1 quanto na 3, com 164%. Nas Zf-50% a maior taxa foi na estação 3, com 162% e menor na estação 4, de 142%. E por fim, na Zf-1% a mínima foi 118%, na estação 1 e 146% na estação 3.

Os valores de concentração de OD, considerando a distribuição horizontal, variaram de 6,63 a 8,23 mg L⁻¹. Sendo encontrado menor valor na Zf-100% na estação 2, de 6,63 mg L⁻¹, enquanto as estações 1 e 3 apresentaram o maior valor, com 7,46 mg L⁻¹. Quanto a Zf-50% temos o menor valor na estação 4, com 6,54 mg L⁻¹ e maior valor na estação 3, de 7,66 mg L⁻¹. Assim como na Zf-50%, na Zf-1% o maior valor também foi na estação 3 com 8,23 mg L⁻¹, porém, o menor valor de OD foi 6,43 mg L⁻¹, na estação 1. Essas variações das concentrações de OD podem ser influenciadas tanto por sua atividade biológica como por suas propriedades físicas. Dentre esses processos, temos: (i) a produção de O₂ realizada pela fotossíntese na zona fótica; (ii) o consumo realizado durante a respiração celular que ocorre com a oxidação da matéria orgânica; (iii) os mecanismos de trocas difusas entre a interface atmosfera-oceano determinadas por sua solubilidade na água do mar; (iv) transporte advectivo; (v) assim como pelo bombeamento de ekman, que pode se dar pela mistura das camadas de águas superficiais com as de subsuperfície, que são mais frias e ricas em oxigênio (BECKER, 2001; SIQUEIRA et al., 2003; GARRISON, 2010; Aguiar, 2014).

Ao analisar a distribuição vertical do percentual de saturação de oxigênio dissolvido, observa-se que as maiores taxas estão associadas a Z-100% e menores na Zf-1%, o que tange a maior disponibilidade desse gás na superfície e maior requerimento dele nas camadas mais profundas da zona fótica. Quando se observa a camada da Zf-100% a Zf-50%. nos perfis, constata-se o aumento da taxa do % Sat. OD na estação 2, enquanto ocorre a diminuição nas outras estações. Após essa camada mais superficial das estações, observa-se em todos os perfis o declínio dos valores de % Sat. OD, contudo a estação 1 apresentou essa diminuição de forma mais acentuada.

Considerando a distribuição vertical de oxigênio dissolvido, distingue-se que a estação 1 apresentou um comportamento diferente das demais estações, onde há uma diminuição gradual da Zf-100% até a Zf-1%, enquanto as estações 2, 3 e 4 demonstram um comportamento semelhante entre as Zf-100% e Zf-50%, logo então, há um pequeno aumento até a Zf1%. Os valores mais baixos de concentração ocorrem devido ao consumo sem reposição de OD e os valores altos na superfície são decorrentes da produção biológica e/ou das trocas gasosas com a atmosfera. Do mesmo modo, outro fator que pode estar relacionado às concentrações observadas na última camada da zona fótica é a diminuição da temperatura que ocasiona maior solubilidade de OD (PAULO, 2016; GARRISON, 2010; NIENCHESKI, 2015).

Entre os autores que encontraram valores corroborando com o presente trabalho, têm-se Montes (2003) em seu estudo na região oceânica do nordeste brasileiro, onde os valores foram elevados, superiores a $5,27 \text{ mg L}^{-1}$, assim como Paulo (2016), ao estudar a mesma região do autor anterior, encontrando valores um pouco menores, onde o consumo de OD era maior, variando entre $3,36$ e $7,39 \text{ mg L}^{-1}$, além disso também encontrou valores superiores a 100% de saturação de oxigênio nas camadas superficiais. Em outras áreas adjacentes, como nas áreas de estudo dos autores Magliocca (1971) e Siqueira et al. (2003), que estudaram as áreas sobrejacentes a Plataforma Continental do Amazonas e suas águas marinhas, também encontraram valores entre $4,92$ a $8,58 \text{ mg L}^{-1}$, onde o primeiro autor encontrou uma distribuição superficial da salinidade e oxigênio dissolvido com mesmas características gerais. Becker (2011) foi outra autora a constatar valores próximos a saturação na superfície, onde registrou valores decrescendo com a profundidade, com maior gradiente na termoclina e de uma forma mais gradual nas maiores profundidades.

4.5. TOTAL DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO (TSS)

Na Zf-100% o menor valor encontrado de TSS foi à estação 1, mais próxima à costa, onde foi encontrado $2,93 \text{ mg L}^{-1}$ e na estação 3 foi encontrado o maior valor, com $5,73 \text{ mg L}^{-1}$. Na Zf-50% o menor valor foi de $4,62 \text{ mg L}^{-1}$ e maior de $7,70 \text{ mg L}^{-1}$, que foram registrados, respectivamente, nas estações 2 e 3. Enquanto a Zf-1% teve $3,27 \text{ mg L}^{-1}$ como mínimo, encontrado na estação 2 e máxima de $7,99 \text{ mg L}^{-1}$ na estação 4. Para melhor compreensão, podemos reforçar que esse material em suspensão compreende pequenas partículas que se encontram na água do mar, de todos os tamanhos e formas, minerais e orgânicos, vivas ou detriticas de natureza terrestre, biogênica e atmosférica (NIENCHESKI, 2015). Assim, podemos dizer que esses valores encontrados no presente trabalho são habituais para ambientes marinhos, visto que esse parâmetro é influenciado por aportes continentais, ou seja, quanto mais distante da costa ocorre sua diminuição. Além da influência do aporte continental, o TSS pode variar de acordo com a produtividade primária da região, onde parte desses sólidos totais em suspensão se encontra na forma de matéria orgânica.

Observando os perfis verticais de TSS contata-se que as estações apresentaram um aumento gradual da superfície até a camada da Zf-50%, porém, a estação 3 apresentou esse comportamento de forma mais acentuado. Após a camada de Zf-50% até a Zf-1%, a estação 4 se difere das demais ao apresentar um aumento gradual dos valores de TSS, enquanto, as outras estações demonstram diminuição entre essas camadas, com destaque novamente para a estação 3 onde apresentou isso de forma mais intensificado. Essas concentrações podem estar associadas à quantidade de sais da área de estudo, considerando que apresentou domínio de águas oceânicas com altos valores de salinidade. Além disso, há o surgimento de reações inorgânicas e biológicas no fim da zona fótica que podem levar a uma redução do sólidos totais em suspensão.

Resurreição, Passavante e Macêdo (1996) corroboram que águas superficiais do nordeste brasileiro normalmente apresentam baixas concentrações de materiais em suspensão, assim como Azevedo (2016), que encontrou em seus estudos da distribuição de fosfato inorgânico dissolvido na zona fótica da região oceânica atlântica equatorial brasileira na radial adjacente ao Ceará valores de $0,10$ a $22,10 \text{ mg L}^{-1}$ e valores de $2,47$ a $16,499 \text{ mg L}^{-1}$ na radial adjacente ao Piauí. Entretanto, ao se comparar os dados de TSS obtidos no presente trabalho com os de outros autores que analisaram essa variável em áreas de estudos mais próximas da costa é possível observar a influência dos aportes costeiros. Como em Castro et al. (2018), ao

estudar a PCMA, obteve na distribuição espacial das concentrações de TSS médias de 23,37 mg L⁻¹ na estação chuvosa a 48,70 mg L⁻¹ nas estações secas.

Outro autor a encontrar valores mais elevados próximos da costa, foi Corrêa (2016) ao estudar a hidrogeoquímica dos TSS no estuário do Rio Mearim. Segundo esse último autor, durante o período chuvoso os TSS apresentaram valor mínimo de 66,6 mg L⁻¹, máximo de 433,6 mg L⁻¹ e média de 136,1 mg L⁻¹, e lembra que esses valores correspondem a soma de minerais, sais, metais, cátions e ânions suspensos na água. Porém, diferente do primeiro autor, os valores de TSS não refletem a influência do aporte fluvial, mas podendo estar relacionados tanto a precipitação quanto a hidrodinâmica estuarina (ressuspensão por marés e movimentação causada por ondas).

4.6. MATÉRIA ORGÂNICA EM SUSPENSÃO

Como dito anteriormente, o TSS compreende tanto materiais na forma mineral quanto orgânico, a seguir é representado essa parte orgânica do total de sólidos em suspensão. Segundo Niencheski (2015), esse material orgânico é proveniente do fitoplanctônico, detritos, bactérias, fungos e leveduras e “pellets” fecais de zooplâncton. Quanto às concentrações de MOS da Zf-100%, foi encontrado o mínimo na estação 1, com 1,23 mg L⁻¹ e máximo de 2,40 mg L⁻¹ na Zf-1%. Na Zf-50% e Zf-1% a distribuição horizontal se manteve semelhante ao TSS, com valores de mínimo na estação 2, com 1,25 e 1,39 mg L⁻¹ e valor máximo, da Zf-50%, na estação 2 de 5,78 mg L⁻¹ e, da Zf-1%, na estação 4 de 2,97 mg L⁻¹.

A partir da distribuição horizontal do percentual de matéria orgânica em suspensão, é possível determinar que, na Zf-100%, quase a metade da concentração do total de sólidos em suspensão se encontra na forma orgânica, onde foi registrado média de 42%, com mínimo na estação 3 (35%) e máximo na estação 4 (54%). Na Zf-50% a média de %MOS foi de 45%, na estação 2 foi identificado o menor valor (27%) e maior na estação 3 (75%), ou seja, apenas 25% do material em suspensão da estação 3 se encontra na forma inorgânica. Quanto a Zf-1% a média, mínima e máxima foram, respectivamente, de 39%, 36% na estação 1 e 43% na estação 2.

Considerando a distribuição vertical da concentração de MOS, as estações 1, 2 e 4 apresentaram um comportamento quase conservativo na zona fótica, com a estação 1 mostrando um pequeno aumento na Zf-1%. Em contrapartida, a estação 3 apresentou uma concentração muito mais elevada na Zf-50%, sendo assim, mostrando uma distribuição

semelhante ao TSS. No que se refere aos perfis verticais do percentual de matéria orgânica, nota-se um padrão em que há diminuição da porcentagem na camada de Zf-100% a Zf-50%, com exceção da estação 3, em que houve um aumento acentuado do %MOS na Zf-50%. Da camada de 50% a 1%, ocorreu uma diminuição expressiva na estação 3, porém, mantendo-se constante na estação 1 e 4 e com um pequeno aumento na estação 2. A parte inorgânica do TSS pode estar associada à intensa incidência solar que ocasiona altas taxas de evaporação que aumenta a concentração dos sais nas águas superficiais, porém, ainda se pode observar uma importante parte orgânica associada aos organismos planctônicos e excretas que acabam morrendo e formando complexos químicos, que após esse processo tornam-se mais densos sendo transportados para as camadas mais profundas (AZEVEDO, 2016).

Quanto ao MOS, Azevedo (2016) encontra adjacente ao estado do Ceará valores entre 0,10 a 6,40 mg L⁻¹ e adjacente ao Piauí, encontrou entre 0,70 a 5,00 mg L⁻¹. Em relação ao %MOS, o mesmo autor encontrou para a radial do Ceará percentuais de 24 a 45%. Ao fazer o mesmo comparativo que TSS com estudos mais próximos da costa, em Corrêa (2016), temos os valores de MOS para região estuarina do Rio Mearim variando de 3,0 a 75,0 mg L⁻¹ na chuva e 21,5 a 104,0 mg L⁻¹ na estiagem, associados ao ambiente com altas concentrações de sedimentos finos, diferentemente da área oceânica. No entanto, a quantidade de MOS é relativamente baixa comparado aos altos valores de TSS. O autor considera que as maiores quantidades de materiais em suspensão, para essa região estuarina, não são de origem orgânica, mesmo com a grande carga orgânica oriunda dos manguezais e dos resíduos da ação antrópica, sendo justificado como contribuição orgânica do Rio Mearim.

4.7. SILICATO DISSOLVIDO

Em relação à Zf-100%, obteve-se o menor valor na estação 4, com 2,19 µmol L⁻¹ e maior na estação 1, de 5,41 µmol L⁻¹. Quanto a Zf-50% a mínima e a máxima se mantiveram próximas da camada superior, com respectivamente, 2,37 µmol L⁻¹ na estação 2 e 5,63 µmol L⁻¹ na estação 3, porém a média da Zf-100% foi de 3,75 µmol L⁻¹ e da Zf-50% foi de 4,33 µmol L⁻¹. Quanto à zona mais profunda de coleta foi registrada uma média de 6,87 µmol L⁻¹, e com o maior valor detectado entre as zonas. A máxima da Zf-1% foi de 9,35 µmol L⁻¹, na estação 3 e mínima de 3,71 µmol L⁻¹, na estação 4. O SiD tem origem continental, porém os aportes dos rios nordestinos não influenciam aparentemente as regiões oceânicas devido ao pequeno fluxo continental e posicionamento das correntes oceânicas. Assim, pode ocorrer influência de outros fenômenos físicos e/ou biológicos, como fluxos

horizontais e verticais através das diferentes massas de água ou alterados de acordo com o crescimento populacional de organismos que usam o nutriente para compor suas carapaças e exoesqueletos. Entretanto, essa remoção de SiD pelos sistemas biológicos dificilmente diminui a sua concentração na água de modo marcante (MONTES, 2003; ESCHRIQUE, 2011; PAULO, 2016).

Quanto à distribuição vertical observa-se que, da superfície à camada de Zf-50%, houve uma diminuição da concentração de SiD nas estações 1 e 3, porém nas estações 2 e 4 esses valores aumentaram. Da Zf-50% até 1% observa-se uma diminuição na estação 4, porém, os valores aumentaram nas outras estações. É necessário destacar que a estação 3 apresentou um aumento de concentração acentuado nessa última camada, apresentado um comportamento inverso ao MOS, portanto, o silicato pode ter sido requerido nessa camada da estação. Como não há influência direta de aportes fluviais, essa distribuição pode estar associada ao maior consumo pelo fitoplâncton à superfície e com a degradação da matéria orgânica nas camadas de 1% de incidência de luz, que libera os nutrientes novamente para a coluna d'água, ou seja, essa variação é decorrente de fontes autóctones, onde há entrada de nutrientes regenerados no meio aquático marinho, mesmo que a região tenha uma produção baixa (VIEIRA, 2013; PAULO, 2016; CARVALHO et al.; 2016; CARVALHO et al., 2017). Além disso, deve-se destacar que durante a época da coleta a área é caracterizada por fortes ventos alísios que podem transportar matéria por vários quilômetros de distância, assim, pode ocorrer a entrada desse nutriente pela interface atmosfera-oceano.

Paulo (2016) também registrou distribuição do silicato escassa na camada superficial, além de encontrar nas estações mais oceânicas médias mais elevadas, associando à presença de massas de água mais profundas e com maior disponibilidade desse nutriente. Outro autor que corroborou com os valores do presente trabalho, foi Vieira (2013), com uma camada superficial também exaurida de nutrientes, inversamente proporcional à concentração do OD, decorrente da produção primária na zona fótica. Carvalho et al. (2017) encontrou uma variação de silicato de 0,07 a 11,28 $\mu\text{mol L}^{-1}$ em outubro de 2012 e 0,52 a 9,68 $\mu\text{mol L}^{-1}$ em setembro de 2014 ao investigar os fluxos de CO_2 ar-mar para a plataforma continental nordeste em uma região de transição climática.

Carvalho et al. (2016) ao estudar a composição do microfitoplâncton, concentração de clorofila-*a* e variáveis ambientais da PCMA, obteve valores para DSi de $4,75 \pm 1,82 \mu\text{mol L}^{-1}$ na estação chuvosa e de $3,73 \pm 1,66 \mu\text{mol L}^{-1}$ na estação seca, observando um perfil decrescente em relação ao oceano tanto na estação seca quanto na chuvosa. De acordo com as

análises de Castro et al. (2018) na Plataforma Continental do Maranhão, as concentrações de silicato obtiveram média de $4,75 \mu\text{mol L}^{-1}$ na estação chuvosa e $3,82 \mu\text{mol L}^{-1}$ na estação seca e, assim como Carvalho et al. (2016), as estações de amostragem mais próximas costa apresentaram maiores concentrações de silicato em todas as campanhas provavelmente devido à forte influência da chuva e descarga fluvial.

4.8. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Com aplicação do teste de normalidade, constatou-se que as variáveis, salinidade, OD e MOS não apresentaram distribuição normal, rejeitando-se assim a hipótese nula. Quanto a homogeneidade de variância, ao nível de significância $\alpha < 0,05$, o pH ($p = 0,378$), TSS ($p = 0,426$) e %MOS ($p = 0,116$) não foram significativos, ou seja, a hipótese nula foi rejeitada e considera-se que a variância dos grupos são iguais (Tabela 5). A partir da ANOVA (*one-way*), as variáveis com diferenças significativas ($p < 0,05$) foram a temperatura e o pH (Tabela 6), então foi realizado teste de Tukey. A partir do teste de Tukey se obteve que o pH apresentou diferença significativa entre as Zf-100% e Zf-1%, assim como nas de Zf-50% e Zf-1% (Tabela 7). Com base no teste Kruskal-Wallis, teve-se diferença significativa apenas para a temperatura, com $p = 0,008$ (Tabela 8). Essas variações significativas da variável temperatura ocorreram entre os valores da Zf-100% e Zf-1% segundo o teste de Mann-Whitney (Tabela 8).

Na ACP, os dois primeiros eixos explicaram 68,99% da variabilidade dos dados (Figura 9). O componente 1 (44,73%) foi positivamente relacionado à temperatura, salinidade, % Sat. OD, TSS, MOS e MOS% com tendência a valores mais elevados nas Zf-100% e 50% e nas estações mais distantes da PCMA, pode-se notar esse comportamento por exemplo para o %OD que foi mais representativo na estação 4 na Zf-100%, enquanto que a temperatura foi representativo na Zf-100% da estação 3. Negativamente, esse mesmo componente, correlacionou-se com SiD, com valor mais elevado para profundidade Zf-1% e estação 1, que é a mais próxima da PCMA. O componente 2 (24,26%) foi positivamente correlacionado com o SiD e pH para a Zf-1% da estação 1. Nota-se que provavelmente as concentrações de OD sofreram maior influência da temperatura e salinidade, comportamento esperado, visto que, quanto menor a temperatura e a salinidade, maior será a solubilidade de OD (BASTOS, 2014; PAULO, 2016). O TSS, MOS e MOS% também tiveram comportamento semelhante, considerando que o MOS é uma fração de TSS.

Figura 9. Biplot da Análise das Componentes Principais das variáveis físico e químicas.

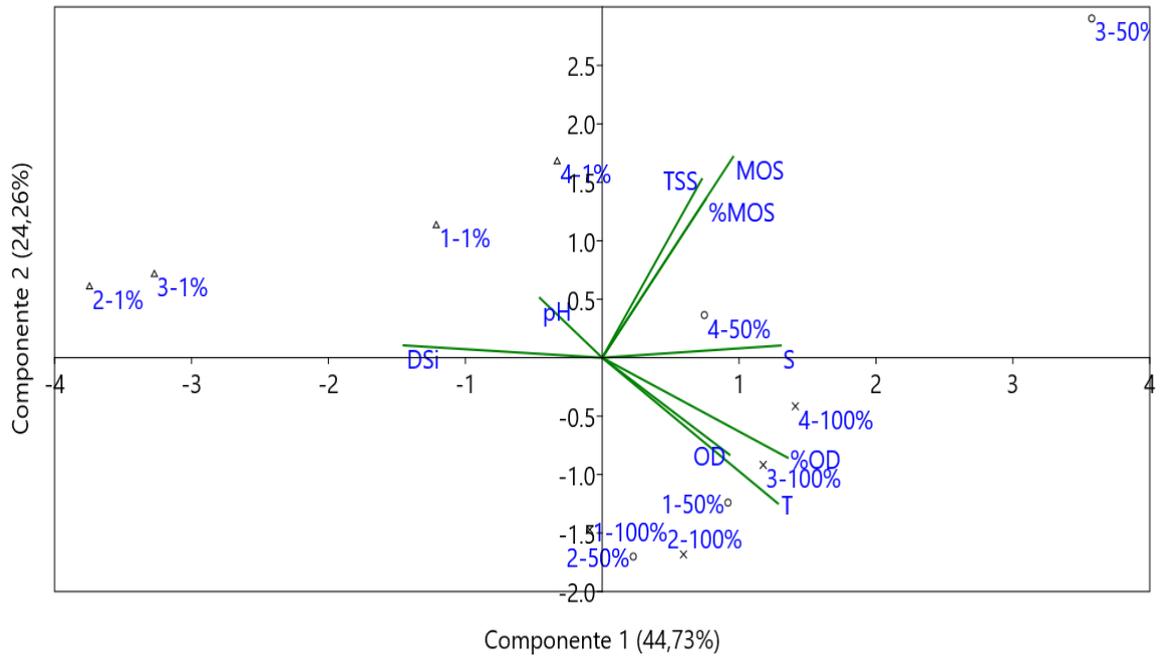


Tabela 5. Teste de Homogeneidade de Variâncias.

	Significância
Temperatura	0,005
pH	0,378
TSS	0,428
%MOS	0,116

Tabela 6. Aplicação da ANOVA (*one-way*).

	Significância
Temperatura	0,000
pH	0,000
TSS	0,325
%MOS	0,821

Tabela 7. Análise de comparações múltiplas.

Variável dependente			Significância
pH	Zf-100%	50%	0,956
		1%	0,000
	Zf-50%	100%	0,956
		1%	0,000
	Zf-1%	100%	0,000
		50%	0,000

Tabela 8. Estatísticas de teste^{a,b}.

	Temperatura	Salinidade	OD	MOS	SiD
Significância Assint.	0,008	0,105	0,778	0,595	0,092

a. Teste Kruskal-Wallis

b. Variável de Agrupamento: Profundidade

Tabela 9. Estatística de teste para temperatura entre profundidades.

Amostra1-Amostra2	Significância Ajustada
Zf-100% - Zf-50%	0,315
Zf-100% - Zf-1%	0,006
Zf-50% - Zf-1%	0,422

5. CONCLUSÃO

A distribuição das variáveis físicas e/ou químicas apresentaram um comportamento típico de ambientes marinhos de regiões oligotróficas, como podemos observar pela distribuição de temperatura, salinidade e pH. A temperatura apresentou variação significativa entre as Zf-100% e 1%, provavelmente devido à intensa radiação solar da região equatorial, que acaba ocasionando valores elevados de temperatura na superfície e, com o aumento da profundidade, esses valores vão diminuindo.

Embora a salinidade não tenha apresentado variação significativa, ela também apresentou comportamento típico de águas puramente oceânicas, o que deve ser ocasionado pela grande taxa de evaporação na região e do domínio de águas salinas. O pH apresentou variação significativa entre Zf-100% e Zf-1%, assim como entre a Zf-50% e Zf-1%. Essa variação é decorrente, presumivelmente, da oscilação da distribuição de matéria orgânica e da variação de ácidos orgânicos e inorgânicos, todavia, destaca-se que os valores obtidos ainda são caracterizados como de águas tipicamente oceânicas.

Destaca-se que os aportes dos rios nordestinos não influenciam aparentemente as regiões oceânicas do estudo, devido ao pequeno fluxo continental e posicionamento das correntes oceânicas. Portanto, considerando que as estações de coleta apresentaram pouca ou nenhuma influência continental, as concentrações das variáveis OD, %Sat. OD, TSS, MOS, %MOS e silicato dissolvido provavelmente variaram, sobretudo, em decorrência das atividades biológicas locais. Todas as amostras apresentaram hipersaturação de oxigênio (>100%), mostrando-se assim com bastante disponibilidade neste gás. Contudo, além da

respiração, da fotossíntese e do consumo em decorrência da respiração celular, que ocorre com a oxidação da matéria orgânica, outros processos podem ter influenciado essa distribuição de OD, como os mecanismos de trocas difusas entre a interface atmosfera-oceano, transporte horizontalmente pelas forças advectivas, assim como o transporte vertical que pode ocorrer pela mistura das camadas de águas superficiais com as de subsuperfície.

A alta disponibilidade de oxigênio pode indicar uma baixa demanda desse gás e baixa taxa de atividade trófica na área, o que acaba influenciando na distribuição de silicato dissolvido e totais de sólidos em suspensão. Neste estudo foi encontrada uma baixa concentração de TSS variando então de acordo com a produtividade ambiental da região, além de sofrer influência do domínio de águas salinas. Parte desses sólidos totais em suspensão se encontra na forma de matéria orgânica proveniente do fitoplâncton, detritos, bactérias, fungos e leveduras e “pellets” fecais de zooplâncton.

Apesar da região de estudo sofrer pouca ou nenhuma influência de aportes fluviais, as concentrações de SiD foram altas em comparação com outros estudos na área equatorial do Atlântico Sul, sendo assim, sua disponibilidade provavelmente é suficiente para manter a demanda dos organismos que utilizam esse nutriente para compor suas estruturas, pois a remoção de SiD pelos sistemas biológicos dificilmente diminuem a sua concentração na água de modo marcante.

Assim, foi constatado que o silicato dissolvido é de grande importância para o entendimento de processos biogeoquímicos do ciclo de outros elementos, como do CO₂, nitrogênio e fósforo. Apesar disso, ainda são poucos os estudos desse nutriente na região oceânica equatorial brasileira, sendo necessário mais pesquisas afim de ampliar o conhecimento a respeito da distribuição de silício nessa área, assim como, sua influência direta para o fitoplâncton.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, José Edvar. **Contribuição ao estudo da mineralogia de sedimentos na Plataforma Continental dos Estados do Ceará, Maranhão e Maranhão através da microscopia analítica SEM/EDS**. 2014. 173 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Marinhas Tropicais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- AMINOT, Alain; CHAUSSEPIED, Marcel. **Manuel des analyses chimiques en milieu marin**. Paris: Cnexo, 1983. 395 p.
- APHA. American Public Health Association. **Standard Methods For Examination Of Water and Wastewater**. 20. ed. Washington, 2001. 34-38 p.
- ARAÚJO, Daniela Rodrigues; MENDONÇA, Antonio Sérgio Ferreira; REIS, José Antonio Tosta dos. Análise de variação e comparação de índices de estado trófico: reservatórios dos aproveitamentos hidrelétricos de Rio Bonito e Suíça. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.I.], v. 23, n. 1, p.55-62, fev. 2018. FapUNIFESP (SciELO).
- AZEVEDO, Igor Hamid Ribeiro. **Distribuição de fosfato inorgânico dissolvido na zona fótica da região oceânica atlântica equatorial brasileira-N/NE**. 2016. 35 f. Monografia (Bacharelado) - Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2016.
- BASTOS, Ana Teresa Cordeiro Cid. **Estudo do ciclo biogeoquímico do silício em diferentes sistemas marinhos como ferramenta para identificação de alterações ambientais de origem natural e/ou antrópica**. 2014. 98 f. Tese (Doutorado) - Curso de Oceanografia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- BECKER, Helena. **Hidrologia dos bancos e ilhas oceânicas do nordeste brasileiro: uma contribuição ao programa REVIZEE**. 2002. 158 f. Tese (Doutorado) - Curso de Oceanografia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2001.
- BOMVENTI, Tiago Nicolosi; WAINER, Ilana Elazari Klein Coaracy; TASCETTO, Andrea Sardinha. Relação entre a radiação de onda longa, precipitação e temperatura da superfície do mar no oceano atlântico tropical. **Revista Brasileira de Geofísica**, [S.I.], v. 24, n. 4, p.513-524, dez. 2006. FapUNIFESP (SciELO).
- BRANDINI, Frederico Pereira. Produção Primária nos Oceanos. In: CASTELLO, Jorge P.; KRUG, Luiz C. **Introdução às Ciências do Mar**. Pelotas: Editora Textos, 2015. Cap. 11. p. 280-313.
- BRASIL. Comitê Executivo do Programa REVIZEE. Ministério do Meio Ambiente (MMA) (Coordenação). **Programa REVIZEE: Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva**. Brasília: 2006.
- CALIJURI, Maria do Carmo; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes (Org.). **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. Cap. 9.
- CALLIARI, Lauro Julio. Sedimentação Marinha. In: CASTELLO, Jorge P.; KRUG, Luiz C. **Introdução às Ciências do Mar**. Pelotas: Editora Textos, 2015. Cap. 4. p. 74-111.
- CARVALHO, A. C. O. et al. Air-sea CO₂ fluxes for the Brazilian northeast continental shelf in a climatic transition region. **Journal Of Marine Systems**, [S.I.], v. 173, p.70-80, set. 2017. Elsevier BV.
- CARVALHO, Ronnessa C. Q. et al. Microphytoplankton composition, chlorophyll a concentration and environmental variables of the Maranhao Continental Shelf, Northern Brazil. **Latin American Journal Of Aquatic Research**, [S.I.], v. 44, n. 2, p.256-266, 10 maio 2016. Pontificia Universidad Catolica de Valparaiso.

- CASTRO, A. L. C. et al. Physicochemical properties and distribution of nutrients on the inner continental shelf adjacent to the Gulf of Maranhão (Brazil) in the Equatorial Atlantic. **Applied Ecology And Environmental Research**, [S.I.], v. 16, n. 4, p.4829-4847, 2018. Applied Ecology and Environmental Research.
- CASTRO, Peter; HUBER, Michael E.. **Biologia Marinha**. 8. ed. Porto Alegre: Amgh Editora, 2012. Cap. 2. p. 18-39.
- CORRÊA, Iran Carlos Stalliviere; WESCHENFELDER, Jair. Fisiografia do Fundo Oceânico. In: CASTELLO, Jorge P.; KRUG, Luiz C. **Introdução às Ciências do Mar**. Pelotas: Editora Textos, 2015. Cap. 3. p.44-73.
- CORRÊA, Mariana Costa. **Hidrogeoquímica dos sólidos totais em suspensão no estuário do Rio Mearim**. 2016. 110 f. Monografia (Bacharelado) - Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2016.
- CUNHA, Sandra Baptista da; GUERRA, Antonio José Teixeira. **Geomorfologia do Brasil**. 4. ed. [S.I.]: Bertrand Brasil, 2006. 392 p.
- DAVIS, Mackenzie L.; MASTEN, Susan J. **Princípios de Engenharia Ambiental**. Porto Alegre, Rg: AMGH, 2016. 872 p.
- DIAS, Francisco José da Silva. **Circulação e massas de água na Plataforma Continental Leste do Ceará: modelagem numérica e observações**. 2011. 292 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- DICKSON, A.G.; MILLERO, F.J. A comparison of the equilibrium constants for the dissociation of carbonic acid in seawater media. **Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers**, [S.I.], v. 34, n. 10, p.1733-1743, out. 1987. Elsevier BV.
- EL-ROBRINI, Maâmar et al. Maranhão. In: MUEHE, Dieter (Org.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministerio do Meio Ambiente, 2006. p. 87-130. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_arquivos/ma_erosao.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2016.
- ESCHRIQUE, Samara Aranha. **Estudo do balanço biogeoquímico dos nutrientes dissolvidos principais como indicador da influência antrópica em sistemas estuarinos do nordeste e do sudeste do Brasil**. 2011. 254 f. Tese (Doutorado) - Curso de Oceanografia Química e Geológica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- FREITAS, Isaac Cristiano. **Estrutura termohalina e massas d'água na Zona Econômica Exclusiva do NE-Brasileiro**. 2003. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Oceanografia Abiótica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.
- GAETA, Salvador Airton; BRANDINI, Frederico Pereira. Produção primária do fitoplâncton na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI, Carmen Lúcia del Bianco; MADUREIRA, Lauro Saint Pastous (Org.). **O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil**. São Paulo: Edusp, 2006. p. 219-264.
- GARRISON, Tom. **Fundamentos de Oceanografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.
- GEYER, W. Rockwell et al. Physical oceanography of the Amazon shelf. **Continental Shelf Research**, [S.I.], v. 16, n. 5-6, p.575-616, jan. 1996. Elsevier BV.
- GRASSHOFF, Klaus; KREMLING, Klaus; EHRHARDT, Manfred. **Methods of Seawater Analysis**. 3. ed. Florida: Verlage Chermie, 1999. 417 p.

GUALBERTO, Lílian Poliana Sousa. **Plataforma Continental do Maranhão: Distribuição Espacial e Análise Textural da Cobertura Sedimentar Superficial**. 2002. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Pará, Bélem, 2002.

GUALBERTO, Lílian Poliana Sousa; EL-ROBRINI, Maâmar. Faciologia da cobertura sedimentar superficial da Plataforma Continental do Maranhão. **Estudos Geológicos**, [s.i.], v. 15, n. 1, p.234-243, mar. 2006.

HATJE, Vanessa; COSTA, Mônica Ferreira da; CUNHA, Letícia Cotrim da. Oceanografia e Química: Unindo conhecimentos em prol dos oceanos e da sociedade. **Química Nova: Órgão de divulgação da Sociedade Brasileira de Química**, [s.i.], v. 36, n. 10, p.1497-1508, 18 set. 2013. Disponível em: <http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol36No10_1497_03-NE13524.pdf>. Acesso em: 13 set. 2016.

ITTEKKOT, Venugopalan et al. **The Silicon Cycle: Human Perturbations and Impacts on Aquatic Systems**. Washington: Island Press, 2012. 296 p. (66).

LALLI, Carol; PARSONS, Timothy Richard. **Biological Oceanography: An Introduction**. Vancouver: Elsevier, 1997. 320 p.

LAZZERINI, Fábio Tadeu; BONOTTO, Daniel Marcos. O silício em águas subterrâneas do Brasil. **Ciência e Natura**, [s.i.], v. 36, n. 2, p.159-168, 31 jul. 2014. Universidad Federal de Santa Maria.

LEÃO, Zelinda Margarida de Andrade Nery; MACHADO, Altair de Jesus. Variação da cor dos grãos carbonáticos de sedimentos marinhos atuais. **Revista Brasileira de Geociências**, [s.i.], v. 19, n. 1, p.87-91, mar. 1989.

LESSA, Rosângela P. et al. Distribution and abundance of ichthyoneuston at seamounts and islands off North-Eastern Brazil. **Archive Of Fishery And Marine Research**, [s.i.], v. 47, n. 2/3, p.239-257, jun. 1999.

LIBES, Susan. **Introduction to Marine Biogeochemistry**. 2. ed. Conway, South Carolina: Second Edition, 2011. 928 p.

LOUCAIDES, Socratis. **Dissolution of biogenic silica: Roles of pH, salinity, pressure, electrical charging and reverse weathering**. 2009. 137 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geociências, Universiteit Utrecht, Utrecht, 2009.

MAFALDA JUNIOR, Paulo de Oliveira; CARDOSO, Andrei Tiego Cunha; SOUZA, Christiane Sampaio de. The influence of oceanographic conditions on the spatial and temporal patterns of Pleuronectiforms larvae (Teleostei) in the equatorial Atlantic Ocean. **Brazilian Journal Of Oceanography**, [S.I.], v. 64, n. 2, p.173-184, jun. 2016. FapUNIFESP (SciELO).

MAGLIOCCA, Argeo. Some chemical aspects of the marine environment off the Amazon and Pará. Rivers, Brazil. **Boletim Instituto Oceanográfico**, São Paulo, v. 1, n. 20, p.61-84, mar. 1971.

MELO, Anna Bárbara C. de; CAVALCANTE, Iracema F. de A.; SOUZA, Paula Pereira. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. In: ALBUQUERQUE, Iracema Fonseca de et al (Org.). **Clima e Tempo no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. Cap. 2. p. 25-42.

MONTES, Manuel de Jesus Flores. **Fatores que influenciam na produtividade dos oceanos: a importância do fluxo de difusão dos nutrientes para a biomassa do fitoplâncton na região oceânica do nordeste brasileiro**. 2013. 198 f. Tese (Doutorado) - Curso de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

NIENCHESKI, Luis Felipe Hax. Propriedades Químicas da Água do Mar. In: CASTELLO, Jorge P.; KRUG, Luiz C. **Introdução às Ciências do Mar**. Pelotas: Editora Textos, 2015. Cap. 6. p. 140-171.

OKUDA, Taizo; CAVALCANTI, Lourinaldo Barreti. Algumas condições oceanográficas na área Nordeste de Natal (Setembro 1960). **Trabs. I.O..**: U.R., [S.I.], v. 3, n. 1, p.3-25, jan. 1963.

PAULO, Josiane Gomes. **Distribuição vertical dos nutrientes dissolvidos no Nordeste do Brasil entre as latitudes 6°20'S e 7°33'S**. 2016. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

PEREIRA, Renato Crespo; SOARES-GOMES, Abílio (Org.). **Biologia Marinha**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciências, 2009. 656 p.

PIRES-VANIN, Ana Maria Setubal. **Oceanografia de um ecossistema subtropical: plataforma de São Sebastião, SP**. São Paulo: Edusp - Editora da Universidade de São Paulo, 2008. 462 p.

PONTES, Paulo Henrique Parente. **Identificação e caracterização das massas d'água da Plataforma Continental do Maranhão, durante os períodos seco (novembro, 1997) e chuvoso (junho, 1999)**. 2007. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

PONTES, Paulo Henrique Parente; EL-ROBRINI, Maâmar. Massa d'água da Plataforma Continental do Maranhão, durante o período seco (novembro, 1997). **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, [S.I.], v. 21, n. 1, p.17-24, jan. 2008.

POSTMA, H. Distribution of nutrients in the sea and the oceanic nutrient cycle. In: COSTLOW, John D. **Fertility of the sea**. 2. ed. New York: Gordon And Breach, 1971. p. 337-349.

RAGUENEAU, Olivier et al. Si and C interactions in the world ocean: Importance of ecological processes and implications for the role of diatoms in the biological pump. **Global Biogeochemical Cycles**, [S.I.], v. 20, n. 4, p.1-15, dez. 2006. American Geophysical Union (AGU).

RESURREIÇÃO, Mauricio Gaspari; PASSAVANTE, José Zanon de Oliveira; MACÊDO, Sílvio José. Estudo da plataforma continental na área do Recife (Brasil): Variação sazonal da biomassa fitoplanctônica (08°03'38" LAT. S; 34°42'28" à 34°52'00" LONG. W). **Trab. Oceanogr. Univ. Fed. Pe**. Recife, p. 39-59. jan. 1996.

RODRIGUES, Regina. Circulação Atmosférica e Oceânica. In: CASTELLO, Jorge P.; KRUG, Luiz C. **Introdução às Ciências do Mar**. Pelotas: Editora Textos, 2015. Cap. 7. p.172-195.

ROSA, Rogério da Silva; MESSIAS, Rossine Amorim; AMBROZINI, Beatriz. **Importância da Compressão dos Ciclos Biogeoquímicos para o Desenvolvimento Sustentável**. 2003. 56 f. Monografia - Curso de Química, Instituto de Química de São Paulo, São Paulo, 2003.

SCHWAMBORN, Ralf et al. The contribution of estuarine decapod larvae to marine zooplankton communities in northeast Brazil. **Archive of Fishery and Marine Research**, [S.I.], v. 2/3, n. 47, p.59-74, jan. 1999.

SILVA, Alex Costa da; ARAÚJO, Moacyr; BOURLÈS, Bernard. Variação sazonal da estrutura de massas de água na plataforma continental do Amazonas e área oceânica adjacente. **Revista Brasileira de Geofísica**, [S.I.], v. 23, n. 2, p.145-157, jun. 2005. FapUNIFESP (SciELO).

SILVA, Alex Costa da; ARAUJO, Moacyr; PINHEIRO, Lidriana de Souza. Caracterização hidrográfica da plataforma continental do maranhão a partir de dados oceanográficos medidos, remotos e modelados. **Revista Brasileira de Geofísica**: Sociedade Brasileira de Geofísica, [S.I.], v. 25, n. 3, p.281-294, set. 2007.

SILVA, Luiz Cláudio Cosendey. **Estudo das massas d'água e da circulação geostrófica na região sudeste da bacia do brasil**. 2006. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SIQUEIRA, Gilmar W. et al. Aspectos hidroquímicos das águas sobrejacentes à Plataforma Continental do Amazonas entre os Cabos Orange (AP) e Maguari (PA). **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, [S.I.], v. 1, n. 16, p.5-20, jan. 2003.

SOUZA FILHO, Jesser Fidelis de. **Amphipoda (Crustacea: Peracarida) da Plataforma Continental e Bancos Oceânicos da Região Nordeste do Brasil**: Programa REVIZEE III e IV. 2007. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2007.

SOUZA, Claudia Maria Rezende de (Org.). **Compilação da Legislação Federal Sobre uso Compartilhado do Ambiente Marinho**: Vade mecum do ambiente marinho. Brasília: Secretaria da Comissão Interministerial Para Os Recursos do Mar - Secirm, 2014. 130 p. Disponível em: <http://infoaq.3co.com.br/site/index.php/component/booklibrary/106/view_bl/52/livros-e-revistas/80/compilacao-da-legislacao-federal-sobre-uso-compartilhado-do-ambiente-marinho-vade-mecum-do-ambiente-marinho.html?Itemid=106>. Acesso em: 13 set. 2016.

STRICKLAND, John D.; PARSONS, Timothy Richard. **A practical handbook of seawater analysis.**: Bulletin Fisheries Research Board of Canada, 2. ed. Ottawa: Bulletin 167, 1972. 311 p.

TESSLER, Moysés Gonzalez; MAHIQUES, Michel Michaelovitch de. Processos oceânicos e produtos sedimentares. In: TEIXEIRA, Wilson et al. **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. Cap. 14. p. 376-398.

THORNTON, Daniel Conrad Ogilvie. **Primary production in the ocean**. Rijeca, Croatia: Intech, 2012. 588 p. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/books/advances-in-photosynthesis-fundamental-aspects/primary-production-in-the-ocean>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

VIEIRA, Chiara Machado. **Estudo espaço-temporal da distribuição dos parâmetros físicos e químicos no transecto 20°S do Oceano Atlântico Sul**. 2013. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Oceanografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.