



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO-UFMA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA-PPGOCEANO

**ESTRUTURA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA DA
PLATAFORMA CONTINENTAL MARANHENSE, NORTE DO BRASIL**

ADRYANNE KETHLEN BARROS MAIA

SÃO LUIS-MA

2022

ADRYANNE KETHLEN BARROS MAIA

ESTRUTURA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA DA PLATAFORMA
CONTINENTAL MARANHENSE, NORTE DO BRASIL

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão como requisito à obtenção do grau de Mestre em Oceanografia.

Linha de pesquisa: Biodiversidade e Ecologia de Ecossistemas Aquáticos

Orientador: Prof. Dr. Marco Valério Jansen Cutrim

Agência de Fomento: Fundação de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Científico do Maranhão (FAPEMA)

SÃO LUIS-MA

2022

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFM

MAIA, ADRYANNE KETHLEN BARROS.

ESTRUTURA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA DA PLATAFORMA
CONTINENTAL MARANHENSE, NORTE DO BRASIL / ADRYANNE KETHLEN
BARROS MAIA. - 2022.

56 p.

Orientador(a): MARCO VALERIO JANSEN CUTRIM.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Oceanografia/ccbs, Universidade Federal do Maranhão, SÃO
LUIS, MARANHÃO, 2022.

1. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL. 2. MASSAS DE ÁGUA. 3.
MICROALGAS. I. CUTRIM, MARCO VALERIO JANSEN. II. Título.

ADRYANNE KETHLEN BARROS MAIA

ESTRUTURA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA DA PLATAFORMA
CONTINENTAL MARANHENSE, NORTE DO BRASIL

Dissertação apresentada ao programa de
Pós-graduação em Oceanografia da
Universidade Federal do Maranhão como
requisito à obtenção do grau de Mestre em
Oceanografia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marco Valério Jansen Cutrim – PPGOceano (UFMA)
Orientador

Profa. Dra. Andrea Christina Gomes de Azevedo Cutrim- PPGECEB (UEMA)
Examinador Externo

Prof. Dr. Francisco José da Silva Dias – PPGOceano (UFMA)
Examinador Interno

SÃO LUIS-MA

2022

*Dedico esse trabalho a Deus por me ajudar
chegar até aqui e aos meus pais por serem
sempre meu porto seguro: Nailde e Neliomar.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por sua infinita bondade e misericórdia e com a graça dEle que cheguei ao fim de mais essa etapa, foram dias difíceis e em meio a uma pandemia que assolou o mundo nesse período, mas Deus sempre esteve ao meu lado me dando forças pra continuar e tudo é pra honra e gloria dEle, há se não fosse Deus jamais eu chegaria até aqui.

Agradeço a meus pais pois são o meu alicerce na vida Neliomar e Nailde, tudo que eu sou e onde eu cheguei foi por causa de vocês que sempre foram meu apoio em tudo, sempre lutaram e se dedicaram em minha criação e educação para que eu alcançasse os meus sonhos. Muitas vezes abrindo mão de tantas coisas. Amo muito vocês infinitamente. E aos meus irmãos Adryelle e Adryano por serem parte fundamental na minha vida que nos unimos pelo amor. Ao meu sobrinho Arthur por sempre me trazer alegria e riso e ser meu companheiro.

Também gostaria de Agradecer ao meu companheiro de vida meu esposo Junior com quem tenho o privilegio de compartilhar minha vida, tristezas e alegrias, obrigada por sempre está ao meu lado me incentivando e segurando a minha mão.

Agradeço muito a toda minha família que sempre vibra com cada conquista minha, em especial minhas Tias com quem tenho um elo muito especial, obrigada tias pelo amor, carinho, cuidado e orações, e em memoria a minha tia Telma que hoje descansa nos braços do Pai. Agradeço pela vida da minha avó Benta e pela oportunidade de poder cuidar dela.

Agradeço as minhas amigas que a UEMA me deu Ione, Daniele e Aldeane por sempre me darem palavras de animo e pela amizade sincera, também ao meu amigo Mauricio pelo companheirismo.

Agradeço ao meu Orientador professor Dr. Marco Cutrim por me instruir nessa jornada, com quem aprendi lições valiosas, por toda paciência e compreensão e pelas muitas oportunidades que me deu. Professor meu muito obrigada por tudo.

Gostaria de deixar um agradecimento especial as doutorandas e amigas Lisana e Karol por toda ajuda e contribuição para este trabalho, mas principalmente pela amizade, carinho, cuidado. O apoio vocês foi muito importante para que eu concluísse essa etapa.

Agradeço toda equipe do laboratório de Ficologia da UFMA por me acolherem nesse grupo e onde me desenvolvi muito, obrigada pela coleta e análises, em especial Taiza e Quedyane.

Gostaria de agradecer a professora Dr. Andrea Azevedo por seu apoio e instrução e por ter acreditado em mim desde o começo tenho um carinho muito especial pela pessoa e profissional que você é.

Agradeço aos meus colegas de turma pelos momentos compartilhados e aprendizado, sei que não foi uma etapa fácil devido a todo contexto que vivemos, mas sempre buscamos nos apoiar e incentivar, em especial a Laís e Kerlon.

Agradeço a Universidade Federal do Maranhão e ao Programa de Pos-graduação em Oceanografia e em especial a todos os professores que contribuíram para minha formação em cada disciplina ministrada. E a Fundação de Amparo a Pesquisa pela bolsa de mestrado que foi de muita importância.

Nunca vai existir as palavras perfeitas para expressar toda a minha gratidão só tenho que dizer: Obrigada! Obrigada a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão dessa dissertação!

“E sabemos que todas as coisas cooperam para o bem daqueles que amam a Deus, daqueles que são chamados segundo o seu propósito (Romanos 8:28)”

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA).....	26
Tabela 2- Variáveis abióticas da Plataforma Continental Maranhense nos três transectos (TSJ – Transecto São José, TSM – Transecto São Marcos e TC – Transecto Cumã; AR - Água de Rio e AC - Água Costeira)	29
Tabela 3- Resumo da Análise de componentes principais das variáveis ambientais da Plataforma Continental Maranhense	31
Tabela 4- Valor Indicador (IndVal) para espécies de fitoplâncton na Plataforma Continental	39
Tabela 5– Testes marginal e sequencial (modelo linear baseado em distância, DistLM) de variáveis ambientais e a densidade de fitoplâncton da PCM.	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Dados meteorológicos de pluviometria e velocidades dos ventos, correspondendo ao ano de coleta.	20
Figura 2- Localização da área de estudo e dos pontos de coleta ao longo da Plataforma Continental Maranhense	21
Figura 3- Diagrama T-S da Plataforma Continental Maranhense mostrando as massas de Água de Rio (AR) e Água Costeira (AC) ao longo dos três transectos (complexos estuarinos São José, São Marcos e Cumã).....	25
Figura 4- Variação dos dados hidrológicos entre as massas de água dos três transectos da Plataforma Continental Maranhense. AR- Água de Rio e AC-Água Costeira.....	28
Figura 5- Análise de Componentes Principais para as variáveis ambientais da Plataforma Continental Maranhense	30
Figura 6- Variação da densidade celular (cels.L-1) nos três transectos da Plataforma Continental Maranhense	32
Figura 7- Contribuição da densidade celular das divisões taxonômicas nos três transectos da Plataforma Continental Maranhense.	33
Figura 8- Variação dos dados biológicos e índices ecológicos na Plataforma Continental Maranhense.....	34
Figura 9- Diagrama OT com as categorias das espécies da Plataforma Continental Maranhense.....	35
Figura 10 - Variação da Clorofila a (mg.m-3) na Plataforma Continental Maranhense.	36
Figura 11 Análise de Simper das espécies caracterizantes da Plataforma Continental Maranhense, nas duas massas de água (Ar e Ac) dos três transectos estudados.....	37
Figura 12- Síntese das associações fitoplanctônicas ao longo da PCM: agrupamento das amostras a partir da matriz dos táxons fitoplanctônicos e nMDS	38
Figura 13- Representação gráfica do dbRDA, das variáveis ambientais e biológicas da PCM.	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo Geral.....	17
2.1 Objetivos específicos.....	17
3. MATERIAIS E METÓDOS.....	18
3.1. Área de Estudo.....	18
3.2 Amostragem.....	21
3.3 Coleta e análise de dados.....	21
3.4 Densidade fitoplanctônica.....	22
3.5 Biomassa fitoplanctônica.....	23
3.6 Análise estatística.....	23
4 RESULTADOS.....	25
4.1 Condições ambientais.....	25
4.2 Composição taxonômica e densidade celular.....	31
4.3 Biomassa fitoplanctônica.....	35
4.4 Estrutura da comunidade.....	36
4.5 Relações das variáveis ambientais sobre a comunidade fitoplanctônica.....	39
5. DISCUSSÃO.....	42
5.1 Padrões ambientais da Plataforma Continental Maranhense.....	42
5.2 Variabilidade da biomassa fitoplanctônica e nutrientes.....	43
5.3. Implicações dos padrões ambientais na determinação dos bioindicadores.....	45
6. CONCLUSÃO.....	48
7. REFERÊNCIAS.....	49
MATERIAL SUPLEMENTAR 1.....	53
MATERIAL SUPLEMENTAR 2.....	54

RESUMO

A Plataforma Continental é uma feição geomorfológica que constitui um local de interação entre os sistemas costeiro e oceânico, na qual recebe nutrientes, materiais em suspensão e matéria orgânica desses ecossistemas. A Plataforma Continental Maranhense (PCM) está localizada na porção norte, Atlântico equatorial, recebendo descargas de grandes complexos estuarinos. Devido a importância ecológica da PCM o objetivo desse estudo foi avaliar a estrutura da comunidade fitoplanctônica em diferentes massas de águas da PCM. A coleta foi realizada em uma expedição oceanográfica (navio Ciências do Mar II), em Abril/2019, período chuvoso na região, em três transectos da PCM: São José, São Marcos e Cumã, com um total de 22 pontos. O estudo levou em consideração análise de variáveis ambientais na superfície da água e a sua relação com a comunidade fitoplanctônica. A estrutura termohalina da PCM identificou duas massas de água: água de rio (AR) e água costeira (AC). A comunidade fitoplanctônica foi representada por 68 táxons, representando as três divisões: Bacillariophyta com 55 táxons (81%), Miozoa com 11 táxons (16%), e Cyanobacteria com 2 táxons (3%). A densidade e a biomassa fitoplanctônica foram maiores na massa de AR de Cumã. Na PCM a divisão Bacillariophyta foi a mais representativa em todas os três transectos. A estrutura da comunidade foi bem definida pela distribuição das massas de água, tendo a massa de água de rio se relacionando com espécies de diatomáceas cêntricas e a massa de água costeira com espécies de diatomáceas coloniais, dinoflagelados e cianobactérias. A espécie *Thalassiosira* sp. foi a principal espécie indicadora da PCM. A ocorrência e distribuição das espécies foram regidos pelas características hidrológicas da PCM.

Palavras-chave: Distribuição espacial, Massas de Águas, Microalgas

ABSTRACT

The Continental shelf is a geomorphological feature that constitutes a site of interaction between coastal and oceanic systems, where it receives nutrients, suspended materials, and organic matter from these ecosystems. The Maranhão Continental shelf (PCM) is located in the northern portion of Brazil in the equatorial Atlantic, receiving discharges from large estuarine complexes. Due to the ecological importance of the Maranhense Continental Shelf, the objective of this study was to evaluate the structure of phytoplankton communities in different water masses of the Maranhense Continental shelf. The collection was carried out in an oceanographic expedition (Science of the Sea II ship), in April/2019, during the rainy season in the region, in three transects of the Maranhão Continental shelf: São José transect, São Marcos transect, and Cumã transect, with a total of 22 points. The study considered the analysis of environmental variables on the water surface and their relationship with the phytoplankton community. The thermohaline structure of the Maranhense Continental Platform identified two water masses: river water (AR) and coastal water (AC). The phytoplankton community was represented by 68 taxa, representing the three divisions: Bacillariophyta with 55 taxa (81%), Myozoa with 11 taxa (16%), and Cyanobacteria with two taxa (3%). Cell density and phytoplanktonic biomass were higher in the Cumã AR mass. In PCM the Bacillariophyta division was the most representative in all three transects. The water masses defined the structure of the phytoplanktonic community. The river water mass was related to centric diatom species and the coastal mass with colonial diatom species, dinoflagellates, and cyanobacteria.

Keywords: Microalgae, spatial distribution, water masses

1 INTRODUÇÃO

Como parte da margem oceânica a Plataforma Continental do Brasil (PCB) destaca-se por apresentar uma importante rede hidrográfica principalmente na região norte do país. Geograficamente, a PCB, se estende por cerca de 8.000 km, englobando, diversas zonas climáticas que contribuem no aporte continental de nutrientes para plataforma através do sistema hidrográfico. As maiores descargas para a PCB se concentram em dois pontos extremos: ao norte, através do sistema Amazonas, e ao sul, através da drenagem que converge para o estuário do rio da Prata. Destas, a do Amazonas é a mais importante, chegando com um volume de 200.000 m³/s a representar próximo a 20% da descarga fluvial mundial (MUEHE; SEQUEIRA, 2005).

Em consequência dessa descarga do Amazonas a Plataforma Norte é a mais larga chegando a 300 km de largura defronte à ilha de Marajó, depois do Golfão Maranhense vai se estreitando em direção a todo o Nordeste atingindo o mínimo de largura em Salvador, Bahia, quando a Plataforma Continental não ultrapassa 17 km. A partir de Abrolhos, em direção ao sul, a Plataforma Continental tende a se alargar gradativamente, chegando a 220 km ao largo do embaçamento de São Paulo e a 200 km um pouco a sul de Rio Grande do Sul (MUEHE; SEQUEIRA, 2005).

Segundo Castro e Miranda (1996) o sistema de correntes oceânicas que atua na PCB é representado pelas correntes Norte do Brasil (CNB), Corrente Sul Equatorial (CSE) e Corrente do Brasil (CB). Segundo estes autores, a corrente Norte do Brasil é formada a sul da latitude de 10°30' S, na convergência dos fluxos sul e central da corrente Sul Equatorial, passando a fluir em direção a norte até encontrar o ramo norte da corrente Sul Equatorial, quando passa, a partir do cabo Calcanhar, e com um volume de transporte de 37 Sv a se dirigir para noroeste, ao longo da borda externa e talude da Plataforma Continental do Maranhão, do rio Amazonas (Pará) e do Amapá, em direção às Guianas quando, a partir da latitude de 2°S, passa a transportar aproximadamente 50 Sv, com velocidade superior a 100 cm/s.

A bacia do rio Amazonas, a maior bacia hidrográfica do mundo, enriquece não só a área costeira, mas também a região oceânica adjacente devida a retroflexão da CNB por meio de complexos processos hidrológicos que transportam a pluma flutuante amazônica para o mar (ARAUJO et al., 2017; VARONA et al., 2019). A retroflexão CNB está associada a mudanças nos padrões dos ventos alísios (trades sudeste), migração da Zona de Convergência

Intertropical (ZCIT) e giros geostróficos, juntamente com o período de grande descarga na foz do rio Amazonas e fluxo mais intenso do forte NBC (SANTANA et al., 2020).

A plataforma continental é uma feição geomorfológica que faz parte da Zona Econômica Exclusiva (ZEE), que em meados dos anos noveta foi realizado o programa do Governo brasileiro denominado Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva (REVIZEE), coordenado pela Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM), que teve por objetivo identificar os recursos vivos e estabelecer o potencial de sua captura na ZEE brasileira. Para isso, o REVIZEE necessitou de informações básicas que englobassem os principais aspectos sobre a planctologia em geral, além das informações pretéritas regionais sobre os estoques marinhos disponíveis e assuntos correlatos.

Segundo as pesquisas feitas pelo Programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva (REVIZEE) a Plataforma Continental Brasileira está dividida em quatro regiões: (1) norte - Oiapoque (AP) ao Delta do Parnaíba (PI); (2) nordeste – Rio Parnaíba (PI) a Salvador (BA); (3) central – Salvador (BA) a São Tomé (RJ); e (4) sul – São Tomé (RJ) ao Arroio Chuí (RS).

A plataforma continental é uma feição geomorfológica que faz parte da Zona Econômica Exclusiva (ZEE), que em meados dos anos noveta foi realizado o programa do Governo brasileiro denominado Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva (REVIZEE), coordenado pela Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM), que teve por objetivo identificar os recursos vivos e estabelecer o potencial de sua captura na ZEE brasileira. Para isso, o REVIZEE necessitou de informações básicas que englobassem os principais aspectos sobre a planctologia em geral, além das informações pretéritas regionais sobre os estoques marinhos disponíveis e assuntos correlatos.

A PCM está inserida na plataforma norte do Brasil, com influência das descargas fluviais feitas através do Golfão Maranhense e Amazônico. Esta região apresenta grande importância ecológica por ser considerada área de reserva de banco genético, abrigo e berçário de peixes, crustáceos, aves e outros vertebrados, apresentando ainda grande potencial pesqueiro e carrega grande aporte de sedimentos e nutrientes para a costa norte em direção ao oceano (MMA, 1999).

Muitos parâmetros importantes como temperatura, pH, luz, estratificação da coluna de água, turbulência, fornecimento de nutrientes para a superfície do oceano e também os diversos ciclos biogeoquímicos, têm sofrido mudanças significativas que acabam por exercer

algum tipo de influência e alteração nas comunidades biológicas (BARTON et al., 2013). Essas variáveis físico e químicas são frequentemente usadas para caracterizar massas de água ao longo das plataformas continentais e as águas costeiras adjacentes, e são importantes para a determinação de processos biogeoquímicos (BRAGA et al., 2008).

Os gradientes dos parâmetros ambientais no Oceano Atlântico estão relacionados à presença de massas de água distintas, principalmente mudanças na temperatura e salinidade, bem como das concentrações dos nutrientes (BRANDINI et al., 2014). As massas de água são definidas como uma grande porção de água com um volume mensurável e que ocupam um lugar finito nos oceanos, podendo ocupar um lugar exclusivo ou podem compartilhar o oceano com outras massas de água, onde ocorrerá a mistura das mesmas (TOMCZAK, 1999) essa dinâmica de massas de água na Plataforma pode reger a distribuição das comunidades biológicas no ambiente marinho.

As comunidades biológicas são estruturadas pela interação complexa de fatores abióticos e bióticos, dentre todas que compõem o ambiente pelágico, o plâncton é de fundamental importância, pois fazem parte da base da cadeia trófica dos oceanos e fornecem energia para os níveis superiores (LIMA-MENDEZ et al., 2015).

Dentre os grupos que compõem o plâncton marinho, destaca-se o fitoplâncton, que compreende, de forma geral, organismos microscópicos aquáticos, autotróficos, que se deslocam passivamente com os movimentos das correntes e massas de água. Apresentam alta taxa de crescimento e mecanismos para melhorar suas respostas fisiológicas às variações ambientais, à distribuição das massas de água e suas condições hidroquímicas constituem uma base para a interpretação dos padrões de distribuição desses organismos (BERASATEGUI et al., 2006; BARTON et al., 2013; PECK et al., 2015). Mudanças na comunidade fitoplanctônica pela variabilidade de parâmetros ambientais, podem provocar alterações na teia trófica, ciclos biogeoquímicos e também no ciclo reprodutivo de espécies comercialmente importantes.

O fitoplâncton é um dos principais responsáveis pelos processos ecológicos e biogeoquímicos nos oceanos, atuam ativamente em diversos ciclos biogeoquímicos de inúmeros elementos, tais como carbono, nitrogênio e fósforo, principalmente através da fixação do carbono e absorção de nutrientes para seu metabolismo durante a produção primária. Também participam da subsequente exportação de matéria orgânica para o oceano profundo (BRIEN et al., 2013; RODRIGUES et al., 2014). O grupo marinho compreende

diversos organismos fotossintéticos que sustentam a base da cadeia alimentar oceânica, sendo também responsáveis por remover quase um terço do dióxido de carbono liberado na atmosfera pelas atividades humanas, e desempenham papéis essenciais nos ciclos biogeoquímicos do carbono (GRUBER et al., 2019).

Estudos iniciais sobre a comunidade fitoplanctônica na Plataforma Norte do Brasil onde está inserido o Maranhão foram realizados através do programa REVIZEE. No entanto na PCM apesar da importância ecológica e complexidade, os estudos envolvendo o fitoplâncton nessas áreas são escassos, apenas Carvalho et al. (2016) que avaliaram a distribuição temporal da comunidade fitoplanctônica, relacionada aos parâmetros ambientais e a sazonalidade em um transecto da PCM.

Devido à carência de estudos da comunidade fitoplanctônica na Plataforma Norte do Brasil, pretende-se testar a influencia da pluma estuarina dos rios que deságuam nos complexos estuarinos de São José, São Marcos e Cumã, sobre os processos biológicos da região costeira para a oceânica, assim como, a resposta da comunidade fitoplanctônica. Em particular, serão abordadas duas questões: (1) Como essa estrutura da comunidade fitoplanctônica é influenciada pelas características hidrológicas da região? (2) Como as assembleias se correlacionam com as condições ambientais?

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Avaliar a estrutura da comunidade fitoplanctônicas em diferentes massas de águas da Plataforma Continental Maranhense.

2.1 Objetivos específicos

- Caracterizar a estrutura da comunidade fitoplanctônica em três transectos da Plataforma Continental Maranhense.
- Determinar as concentrações de clorofila *a* e densidade fitoplanctônicas;
- Relacionar o fitoplâncton com variáveis ambientais da Plataforma Continental Maranhense.

3. MATERIAIS E METÓDOS

3.1. Área de Estudo

O litoral Maranhense localiza-se na porção norte do litoral brasileiro, com uma extensão de 640 km de costa que possui uma variedade e ecossistemas de grande relevância ecológica com diversas formações vegetais como mangues, restingas, campos inundáveis, dunas. A região é caracterizada pela presença de baías, rios, córregos, lagos, lagoas e lagunas (GAMA, et al. 2011).

A PCM é rasa e extensa, abrange uma área que se estende da foz do rio Gurupi (PA), com cerca de 203 km de largura seguindo até a foz do rio Parnaíba (PI). A partir da baía do Tubarão, a largura da PCM diminui, alcançando cerca de 72 km, sendo que a quebra da Plataforma se encontra na isóbata de 90 m e recortada por canyons submarinos (EL-ROBRINI et al., 1993). A PCM apresenta uma cobertura sedimentar predominantemente arenosa, principalmente a NW da foz do rio Parnaíba, mas apresenta algumas áreas lamosas próximos á estuários (PINHEIRO, 2007).

A PCM do ponto de vista geológico é subdividida em três partes: (1) Interna, que é limitada pela isóbata de 40 m, sendo que a isóbata de 20 m segue o traçado da linha de costa atual e a distribuição dos sedimentos na parte interna da PCM é caracterizada pela presença de areias quartzíticas moderadamente selecionadas a bem selecionadas; (2) Média, que é mais inclinada e situa-se entre as profundidades de 40 e 60 m, apresentando muitas feições erosivas e acumulações arenosas perpendiculares à costa. Neste setor, a distribuição dos sedimentos é irregular, ocorrendo, areias finas a médias bem selecionadas; (3) Externa, que é limitada pelas isóbatas de 60 e 90 m, com feições irregulares de natureza carbonática. Os sedimentos principais na parte externa da PCM são as areias de granulometria fina a grossa com cascalho esparso e cascalhos areno-lamosos pobremente selecionados (ZEMBRUSCK et al., 1971; PALMA,1979; EL-ROBRINI et al., 1993).

A área do presente estudo centraliza-se em frente Golfão Maranhense que está localizado no centro do litoral Maranhense recebendo águas dos complexos estuarinos de São Marcos, São José e baía de Cumã. Ao largo do Golfão do Maranhão, a PCM tem largura média de 150 km e profundidades menores que 45 m, atingindo 75 m de profundidade próximo ao rompimento da Plataforma e caindo abruptamente para 2.000 m na base do talude Continental.

O complexo estuarino de São Marcos é uma zona estuarina orientada na direção NE-SW e na qual a morfologia integra dois tipos contrastantes de costa: a NE, a costa é sub-retilínea para NE, com praias arenosas (norte da Ilha de São Luís), dunas e paleo-dunas; a NW, por outro lado, a costa recortada por rias é colonizada por manguezais. Esta vasta baía, aberta para a Plataforma Continental, tem 50 km em sua parte norte, 15 km na parte central (entre Alcântara e a Ponta de São Marcos), 25 km ao nível da Ilha dos Caranguejos e 4 km na foz do rio Mearim (EL-ROBRINI, 1990). A bacia hidrográfica do rio Mearim possui uma área de 96.000 km, sendo que este rio percorre mais de 930 km até desembocar no complexo estuarino de São Marcos, onde apresenta grande meandricidade e influência significativa da maré. A vazão média do rio Mearim é de 770 m³/s.

No complexo estuarino de São Marcos, em condições extremas, as correntes de maré atingem valores de 3,704 a 4,63 km/h nas regiões mais externas da PCM, , enquanto que na foz a velocidade das correntes de maré pode atingir 13,89 km/h, porém com fluxos de vazante superiores aos de enchente (BRASIL, 1972). Esse complexo estuarino é um local de intensa movimentação e atividades portuárias, com um canal central com profundidades de até 90 m, servindo como uma hidrovia para as importantes instalações

portuárias, tais como: Porto de Itaqui, Terminal de Ponta da Madeira e Terminal de Alumar (GONZÁLEZ-GORBEÑA et al., 2015) .

O complexo estuarino de São José está localizado a leste da ilha de São Luís, é uma região de pouca profundidade e que recebe as águas de duas grandes bacias hidrográficas dos rios Itapecuru e Munim, também é uma região rica em manguezais e estuários (SILVA et al., 2018). A bacia hidrográfica do rio Itapecuru tem aproximadamente 52.970 km² e apresenta vazão média de 317,5 m³/s (COSTA et al., 1997).

A baía de Cumã está localizada na região Microrregião da Baixada Maranhense e Microrregião do Litoral Ocidental Maranhense, inserida nas Reentrâncias Maranhenses, local de grande quantidade de estuários recortando a costa, a principal bacia hidrográfica que desagua é a bacia do Rio Pericumã que possui 126 km de extensão e 10.800 km² de área. A bacia hidrográfica é constituída por ambientes aquáticos extremamente complexos, com estrutura e funcionamento diversificados, sendo constituído por campos inundáveis, lagos rasos, temporários, que ocupam toda a planície de inundação; lagos permanentes e sistemas fluviais que representam unidades de paisagem caracterizadas por intensa dinâmica

decorrente da atividade sazonal e em seu baixo entre a barragem e a foz na baía de Cumã apresenta vegetação de mangue (VIEGAS, 2011).

A área de estudo está sob influência da variabilidade espaço-temporal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que durante os meses de janeiro a junho ocorre maior volume de precipitação, enquanto que no período dos meses de setembro a novembro, ocorrem menores taxas de precipitações, associados à posição da ZCIT.

A série de dados meteorológicos de 29 anos obtidos pelo site do INMET (Figura 1), mostrou que o ano da realização da coleta apresentou características típica para a região com dois períodos sazonais bem divididos, de janeiro a junho ocorre os meses com maiores precipitações e de julho a dezembro é o período de estiagem, sendo os meses de agosto a novembro os meses de menor precipitação. A coleta para esse estudo ocorreu no período chuvoso, no mês de abril, no qual, no mês anterior a coleta de dados (março/2019) ocorreu um volume de chuva registrado na região de 818 mm, acima da média dos últimos 29 anos. Vale ressaltar que o período do estudo estava sobre influência de La Niña de fraca intensidade.

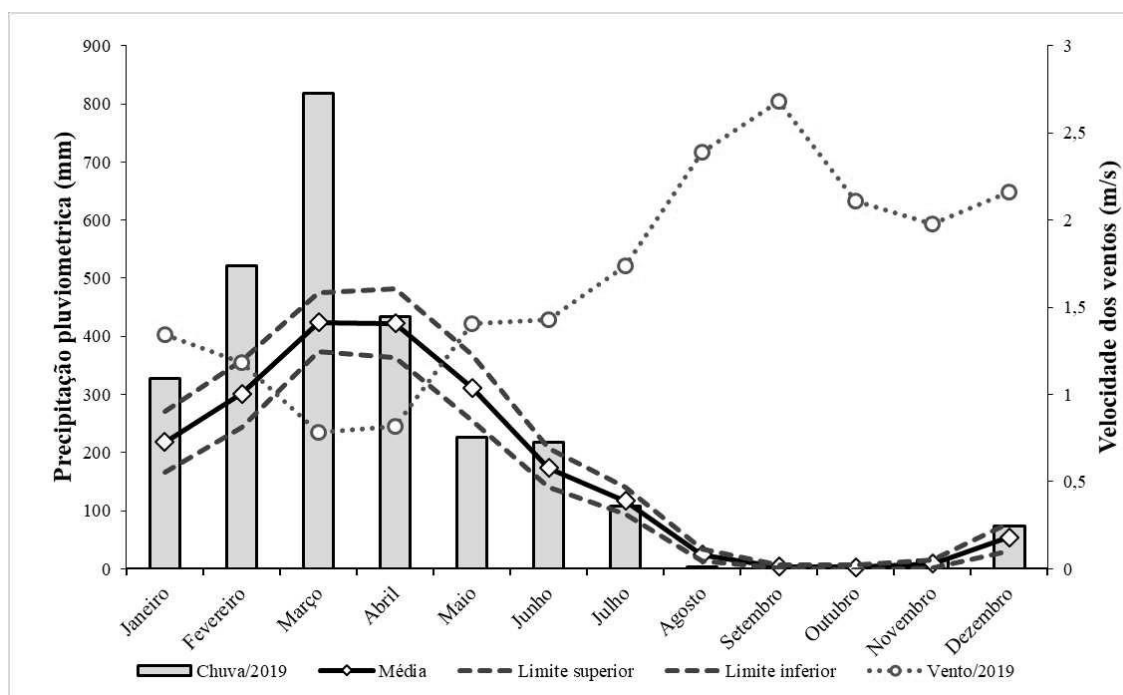


Figura 1-Dados meteorológicos de pluviometria e velocidades dos ventos, correspondendo ao ano de coleta.

3.2 Amostragem

As amostragens foram feitas a partir de uma expedição oceanográfica realizada pelo navio de ensino e pesquisa Ciências do Mar II, em abril de 2019, durante o período de maior precipitação pluviométrica. Os pontos amostrais foram distribuídos ao longo de três transectos da Plataforma Continental Maranhense, abrangendo São José, São Marcos e Cumã, com um total de 22 pontos (Figura 2).

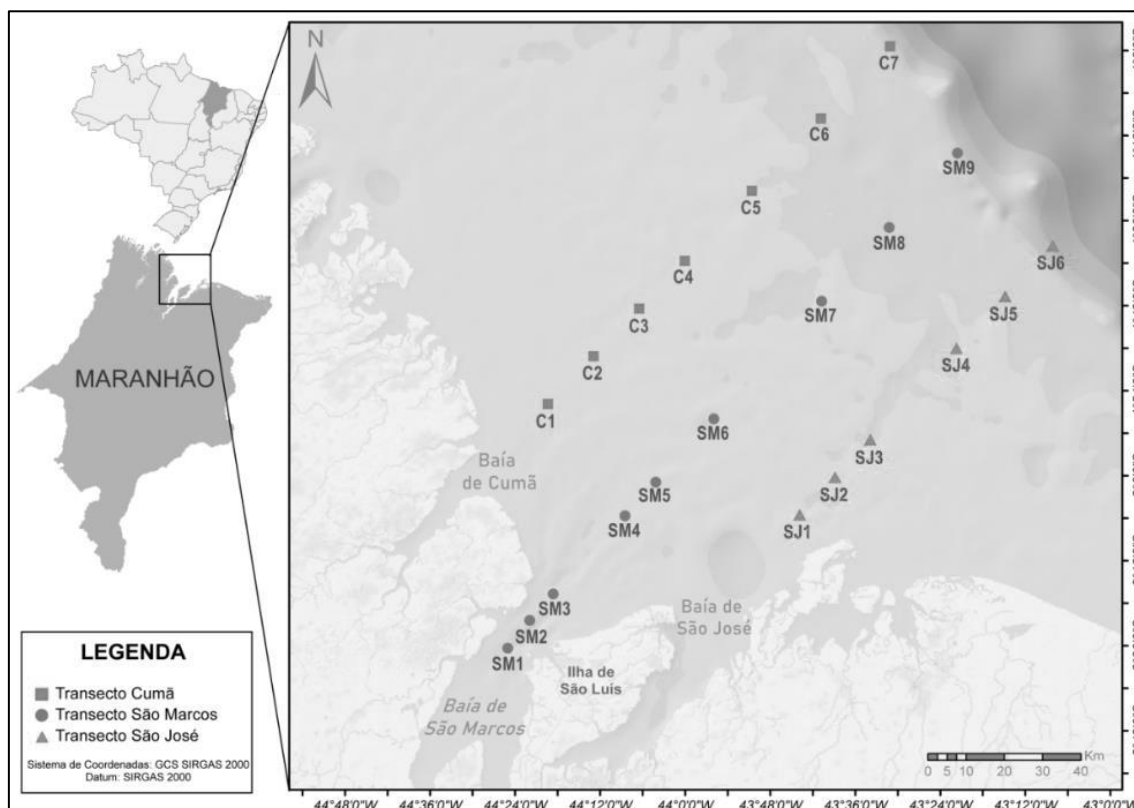


Figura 2– Localização da área de estudo e dos pontos de coleta ao longo da Plataforma Continental Maranhense

O transecto 1 (T1) corresponde ao complexo estuarino de São José (TSJ) com seis pontos, o transecto 2 (T2) ao complexo estuarino de São Marcos (TSM) com nove pontos e transecto 3 (T3) correspondendo a baía de Cumã (TC) com sete pontos. (Tabela de pontos amostrais no material suplementar 1)

3.3 Coleta e análise de dados

Em cada ponto amostral *in situ* foi realizado uma perfilagem vertical da coluna d'água com um CTD - YSI Castway (Conductivity, Temperature and Depth) para a obtenção de dados de profundidade, temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido (OD). Na camada sub-superficial (0,50m), a radiação solar fotossintética ativa (RSFA) foi determinada com

auxílio do Quanta-Meter (Li-Cor) e pH foi mensurado através da sonda multiparamétrica Hanna (HI-9828).

Para análise de material particulado em suspensão (MPS), nutrientes, densidade e biomassa fitoplanctônica, as amostras de água foram coletadas com garrafa oceanográfica tipo van Dorn em sub-superfície (0,50m) nos pontos de coleta.

A determinação das concentrações de MPS foram realizadas de acordo com o método de gravimetria descrito por Strickland e Parson (1972). Quanto aos nutrientes, as determinações de nitrito e nitrato foram baseadas no método de Strickland e Parsons (1972) e ortofosfato (PO_4^{3-}) e silicato inorgânico (SiO_4) por Grasshoff et al., (1983). Quantificação de NID ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) e PID (PO_4^{3-}), seguiram a metodologia descrita em APHA (2012)

3.4 Densidade fitoplanctônica

A densidade fitoplanctônica seguiu o método de contagem das células através da técnica de Üthermohl (FERRARIO et al., 1995), as amostras (coradas com lugol) foram colocadas em câmaras de sedimentação nos volumes de 10, 25 e 50 ml de acordo com a localização do ponto e coradas com Rosa de bengala com um período de sedimentação de 24 horas (MARGALEF, 1983). Após esse período foram feitas as contagens no microscópio invertido (ZEISS Axiovert 100) com aumento de 400 vezes, através da técnica de contagem por campos iluminados, sistematizados em cruz (UEHLINGER, 1964) e aplicando a fórmula de Villafañe e Reid (1995).

A identificação taxonômica das microalgas foi baseada na literatura especializada e a atualização dos táxons seguiu o sistema de classificação internacional da ALGAEBASE (Guiry e Guiry 2018).

Com base na contagem de células por litro, foram calculados os índices ecológicos de diversidade (SHANNON-WIENNER, 1963) segundo a classificação de Valentin et al. (2000), riqueza de espécies (MARGALEF, 1958) e equitabilidade (PIELOU, 1966), índice de dominância e índice de constância (DAJOZ, 1983).

O diagrama Olmstead e Tukey (O-T) (SOKAL;ROHLF, 1981) foi construído para categorizar as espécies com base em sua densidade e frequência, sendo as categorias: Dominante se tiver densidade e frequência maiores do que a média aritmética, espécie rara será aquela com valores de densidade e frequência menores que a média, ocasionais são

aquelas que apresentam abundância maior que a média e frequência abaixo da média, e constantes são aquelas que apresentam frequência maior que a média e abundância menor.

3.5 Biomassa fitoplanctônica

A bordo do navio, as amostras de água foram filtradas com filtros de fibra de vidro Whatman GF/F (0,7 μm de porosidade e 47 mm de diâmetro) em volumes de 200 ml (águas da porção mais interna da Plataforma) a 10 litros de água (porção mais externa da Plataforma). Em laboratório a biomassa fitoplanctônica foi determinada através da concentração de clorofila-a e determinada por meio de análise fluorimétrica (Fluorímetro Trilogy – 7200, Turner Design). Posteriormente, os filtros foram colocados para extração de pigmento em acetona a 90% por 24 horas. Para a separação e obtenção das frações do microfitoplâncton ($>20 \mu\text{m}$) e nanofitoplâncton ($< 20 \mu\text{m}$), sub-amostras de água foram filtradas através de uma malha de 20 μm .

3.6 Análise estatística

Para verificar se existe diferença significativa ($p < 0,05$) entre as massas de água e entre os transectos para variáveis físico-químicas e biológicas, foi aplicada a Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA - Two Way). A partir de então, com o propósito de avaliar as diferenças significativas das variáveis ambientais e biológicas entre as massas de água e entre os transectos foi aplicado a análise de variância (ANOVA One-Way) e seu respectivo teste não-paramétrico Kruskal-Wallis, com nível de significância definida em $p < 0,05$. Para cada variável foi testada a normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Teste de Levene), e em seguida transformados a $\log(x + 1)$. A Análise de Componentes Principais (ACP) foi realizada como objetivo de identificar padrões espaciais relacionados aos gradientes ambientais.

A estrutura da comunidade fitoplanctônica foi explorada por meio da Análise de Similaridade Percentual (SIMPER), a fim de identificar as espécies caracterizantes (espécies que contribuíram consistentemente para similaridade entre as condições analisadas) das massas de água nos diferentes transectos e suas respectivas contribuições percentuais, seguida pela Análise de Similaridade (ANOSIM) para testar a significância das similaridades.

O índice de valor indicador (IndVal) foi utilizado para selecionar as espécies bioindicadoras ($p < 0,01$) para os diferentes transectos. O método foi determinado com base

em Dufrêne e Legendre (1997) e combina a densidade de uma espécie com sua frequência de ocorrência nos pontos amostrais, considerando especificidade e fidelidade. O valor do índice foi expresso em porcentagem. Sendo consideradas no estudo, espécies com IndVal >44% e $p < 0,05$ como potenciais indicadores do fitoplâncton.

A Análise de Cluster, baseada na distância Euclidiana, determinou a dissimilaridade das amostras em relação a estrutura da comunidade fitoplanctônica por meio da densidade celular, na qual as matrizes originais dos táxons foram previamente reduzidas, eliminando-se os táxons poucos frequentes (que correu 1 vez) e pouco abundantes ($< 0,0481 \times 10 \text{ cel.L}^4$) para diminuir o ruído nas análises foi realizada a transformação de Hellinger (Legendre e Legendre, 1998).

A análise de redundância (RDA) foi utilizada para avaliar as relações entre os táxons fitoplanctônicos e as variáveis ambientais. O modelo de regressão linear múltipla baseado na distância (DistLM) com critério de seleção R^2 foi realizado com objetivo de determinar as combinações de variáveis preditoras que explicam a estrutura da comunidade fitoplanctônica. A colinearidade das variáveis foi previamente avaliada pelo *Draftsman plot* a partir da correlação de Spearman, considerando ($R^2 > 0.7$). A representação das relações foi evidenciada na análise complementar de redundância *dbRDA*, com vetores sobrepostos das variáveis ambientais e biológicas com coeficiente de correlação de 0.4.

As análises estatísticas foram realizadas usando os softwares SPSS (versão 24.0), STATISTIC (versão 10.0), PRIMER (version 6.0), e programa RStudio. Os mapas foram no programa QGIS.

4 RESULTADOS

4.1 Condições ambientais

Baseado nas propriedades obtidas nesse estudo foi possível identificar na superfície da Plataforma Continental duas massas de água, definidas pelo diagrama T-S (Figura 3), obtido a partir da correlação de valores de temperatura (T) e salinidade (S) medidos ao longo dos pontos amostrais, foram identificadas as massas: Água de Rio (AR) com temperatura $\leq 29^{\circ}\text{C}$ e salinidade entre $14 < S < 28 \text{ g/Kg}$ e Água Costeira (AC) com temperatura variando entre $28 < T < 30$ e salinidade entre $34 < S < 36 \text{ g/Kg}$ (DIAS, 2013)

No TSJ (Transecto São José) todos os pontos foram caracterizados como AC (SJ01 a SJ06). Os pontos mais internos do TSM (Transecto São Marcos) foram classificados como AR (SM01 a SM06) e os mais externos (SM07 a SM09) em direção a quebra da Plataforma foram classificados como AC. O mesmo padrão foi verificado nos pontos do TC (Transecto Cumã), com os pontos mais internos (C01 a C03) classificados como AR e os mais externos (C04 a C07) como AC. (Figura 3)

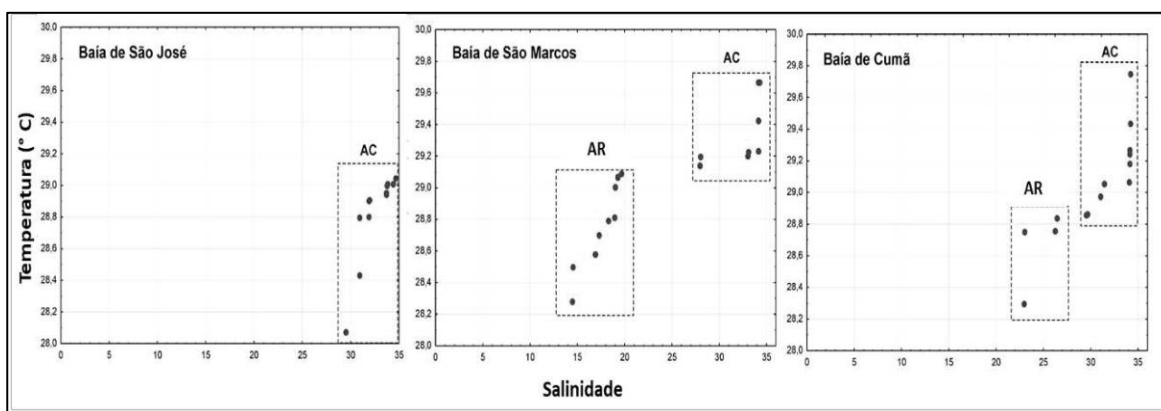


Figura 3- Diagrama T-S da Plataforma Continental Maranhense mostrando as massas de Água de Rio (AR) e Água Costeira (AC) ao longo dos três transectos (complexos estuarinos São José, São Marcos e Cumã).

A Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA) mostrou diferenças significativas das variáveis hidrológicas na PCM entre as massas de água (espacial) e entre os transectos estudados (Tabela 1)

Tabela 1- Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA)

PERMANOVA						
Fatores	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	Unique perms
Espacial	8	59,974	7,4968	3,8953	0,001	997
Transectos	2	37,152	18,576	9,6518	0,001	999
Espxtran	11	96,322	8,7565	4,5498	0,001	999
Res	11	21,171	1,9246			
Total	43	235,8				

As médias dos parâmetros físicos e químicos da Plataforma Continental estão dispostos na tabela 2. Os valores médios de salinidade entre as massas de água da PCM variaram de $19,49 \pm 4,35$ g/Kg a $33,86 \pm 2,96$ g/Kg. Dentre todos os transectos, a menor média foi registrada na massa de água de rio (AR) e a maior na AC no transecto de São Marcos (TSM). A salinidade apresentou um gradiente crescente dos pontos mais internos em direção aos pontos mais externos da PCM. Ao inverso da salinidade, as maiores temperaturas da água foram registradas nos pontos mais internos da Plataforma, na massa de água de rio (AR), com maior registro no transecto de Cumã ($29,14 \pm 0,51$ °C). O menor valor médio foi na massa AC do transecto São José ($28,82 \pm 0,29$ °C). A salinidade e a temperatura da Plataforma apresentaram diferenças significativas entre as massas de água e entre os transectos. (Figura 4; Tabela 2)

Em relação a concentração de Oxigênio Dissolvido (OD) as maiores concentrações médias foram nos pontos mais internos da PCM, sendo em AR de Cumã ($\mu\text{mol/ml}$) o valor mais alto, e as concentrações diminuem nos pontos mais externos da Plataforma (C4 a C7). O OD apresentou diferenças significativas entre as massas de água.

O material particulado em suspensão (MPS) apresentou valores médios que variaram de $60,06 \pm 6,8$ a $141,22 \pm 149$ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. A maior concentração média do MPS foi registrada em AR do TSM, nos pontos mais internos da Plataforma. A Radiação Solar Fotossinteticamente Ativa (RSFA) registrou as médias que variaram de $112,82 \pm 286,8$ a $334,45 \pm 237,4$ $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$, sendo a maior radiação registrada na água costeira de TSM e a menor na massa de água de Rio de TC. (Figura 4)

Com relação às concentrações de nutrientes (Figura 4), os compostos nitrogenados apresentaram maiores valores médios nas massas de água de rio (AR) em toda a Plataforma Continental Maranhense. O nitrato (NO_3^-) variou de $0,83 \pm 0,22$ a $1,29 \pm 0,35$ $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, e o

nitrito (NO_2^-) com variação de $0,007 \pm 0,02$ a $0,09 \pm 0,004 \mu\text{molL}^{-1}$. Os maiores valores registrados para esses compostos foi em TC. Os compostos nitrogenados não apresentaram diferenças significativas entre as massas de água. Apenas nitrato apresentou diferenças significativas entre os transectos.

O ortofosfato (PO_4^{3-}) variou de $0,15 \pm 0,008$ a $0,28 \pm 0,016 \mu\text{molL}^{-1}$ sem diferenças significativas. Apresentou uma distribuição parecida com os compostos nitrogenados, com as maiores concentrações encontradas nas massas AR do transecto da baía de Cumã e as menores na AC de todos transectos.

O silicato (SiO_4) apresentou diferenças significativas entre as massas de água, com valores médios variando de $0,77 \pm 0,15$ a $1,22 \pm 0,36 \mu\text{molL}^{-1}$. As maiores concentrações de silicato encontradas na PCM foram nos pontos de massa AR e decrescendo em direção aos pontos mais externos da Plataforma. Entre as massas de AR, o transecto TSM registrou os maiores valores, enquanto que, nas massas de AC, TSJ foi que registrou as maiores concentrações.

Em relação a razão de Redfield a razão NID:PID mostrou que 90% das amostras foi limitado por nitrogênio e 10% foi por fósforo, demonstrando que o nitrogênio é o nutriente limitante na Plataforma, esses 10% foi na AC de São Marcos que foi limitada por fosforo. A razão NID:SID foi de 55% das amostras foi menor que 1 limitada por nitrogênio e 45% maior que 1 limitada por silicato. Quanto à razão SID:PID 86% foi limitada por Silicato. A limitação por silicato ocorreu nos pontos mais externos principalmente em TSM.

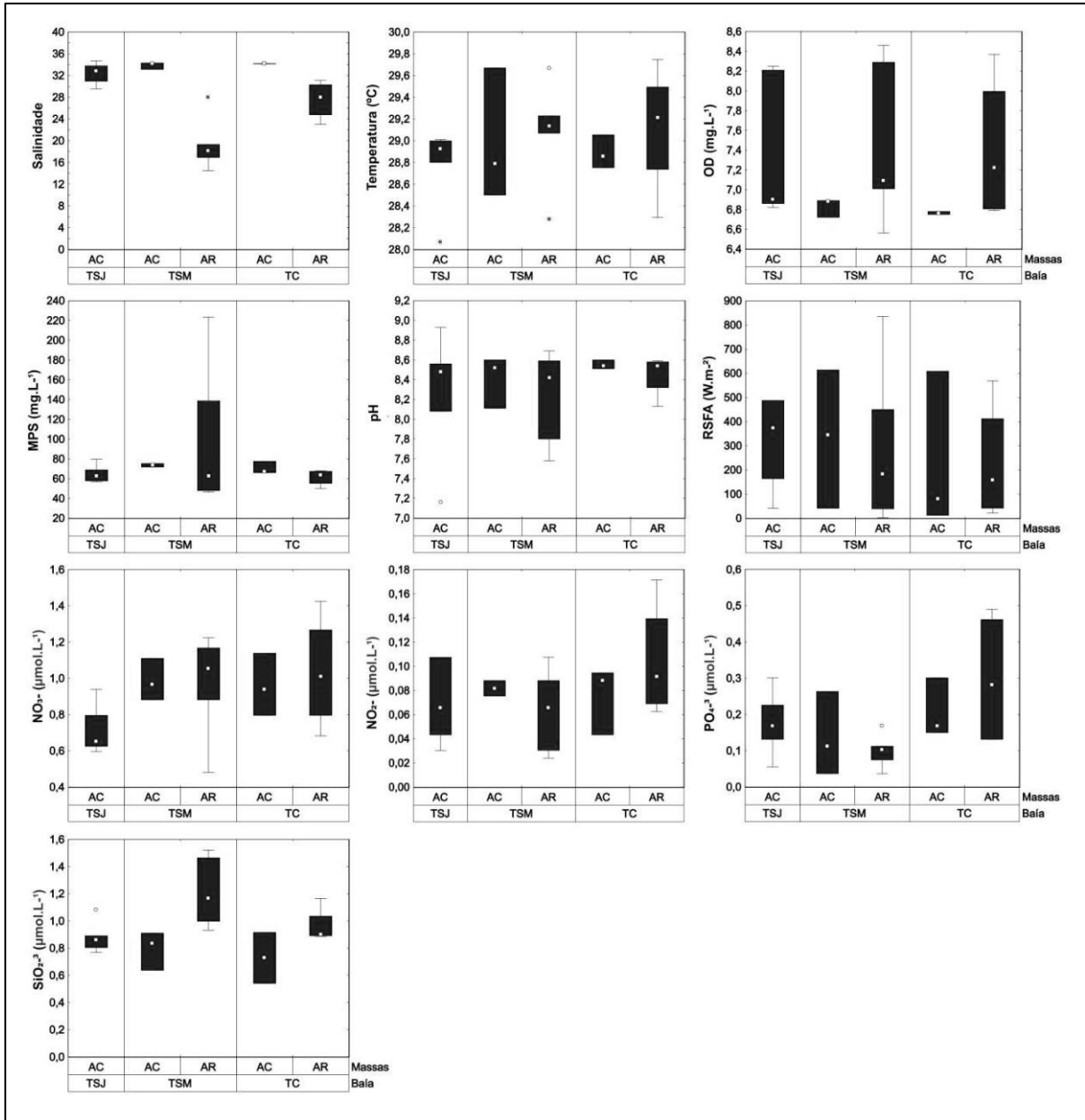


Figura 4- Variação dos dados hidrológicos entre as massas de água dos três transectos da Plataforma Continental Maranhense. AR- Água de Rio e AC-Água Costeira.

Tabela 2- Variáveis abióticas da Plataforma Continental Maranhense nos três transectos (TSJ – Transecto São José, TSM – Transecto São Marcos e TC – Transecto Cumã; AR - Água de Rio e AC - Água Costeira)

Variáveis	Unid.	TSJ		TSM		TC		<i>p < 0,05</i>	
		AC	AR	AC	AR	AC	AR	Baía	Esp.
Sal.	gKg	32,61 ± 1,63	19,49±4,35	33,83±0,58	26,33±2,96	33,45±1,34		0,02*	0,000*
Temp.	°C	28,82±0,29	29,10±0,36	28,91±0,40	29,14±0,51	28,94±0,16		0,021*	0,029*
OD	µmol·ml	7,08±0,54	7,15±0,62	6,77±0,08	7,69±0,82	6,77±0,03		0,567	0,002*
pH	--	8,26±0,52	8,18±0,42	8,48±0,19	8,41±0,23	8,53±0,03		0,354	0,272
MPS	mgL ⁻¹	64,54±7,60	141,22±149	72,97±3,08	60,06±6,8	66,67±5,4		0,085	0,519
RSFA	µmol·s ⁻¹ ·m ⁻²	266,87±160,86	284,70±317,29	334,45±237,4	112,82±286,8	317,12±254,73		0,392	0,056
NO ₃ ⁻	µmol·L ⁻¹	0,83±0,22	1,14±0,22	0,97±0,23	1,29±0,35	1,12±0,30		0,005*	0,324
NO ₂ ⁻	µmol·L ⁻¹	0,07±0,03	0,07±0,03	0,07±0,02	0,08±0,05	0,09±0,004		0,294	0,864
PO ₄ ³⁻	µmol·L ⁻¹	0,15±0,008	0,22±0,11	0,16±0,14	0,28±0,16	0,19±0,08		0,090	0,962
SiO ₂ ⁻	µmol·L ⁻¹	0,94±0,28	1,22±0,36	0,83±0,15	1,13±0,41	0,77±0,15		0,097	0,000*
NID:PID	-	5,87±3,80	13,92±10,78	13,59±11,35	5,66±5,65	5,50±1,51		-	-
NID:Si	-	0,90±0,20	0,89±0,34	1,39±0,42	1,32±0,47	1,33±0,51		-	-
Si:PID	-	6,34±3,87	14,75±7,55	10,64±10,57	3,77±2,66	4,74±2,22		-	-
Clorofila <i>a</i>	mg·m ⁻³	2,75±2,08	8,74±10,39	2,99±3,46	18,54±11,02	3,82±5,21		0,216	0,003*
Densidade	cels·L ⁻¹ ·x10 ⁴	2,0 ±1,7	3,2 ±1,3	0,8±0,5	9,1±7,4	2,1± 1,5		0,278	0,000*

De acordo com a Análise de Componentes Principais (ACP), 45,29% das variações foram expressas nos dois primeiros eixos (Figura 10). O eixo 1 com 24,76% e o eixo 2 com 20,53%.

O eixo 1 explica a correlação entre as variáveis ortofosfato, silicato, pH, salinidade, OD e MPS (Tabela 3), no qual o MPS e silicato tiveram relação com maiores valores no transecto São Marcos em AR. O pH se relacionou com a salinidade, nos pontos com maior salinidade apresentou pH alcalino.

O eixo 2 explica a correlação entre as variáveis clorofila-a, nitrato, nitrito, temperatura da água e RSFA (Tabela 3). Os valores de clorofila *a* se relacionaram com as concentrações de nitrato e nitrito, em AR de TC e TSM. A temperatura se relacionou com a RSFA inversamente, em AC.

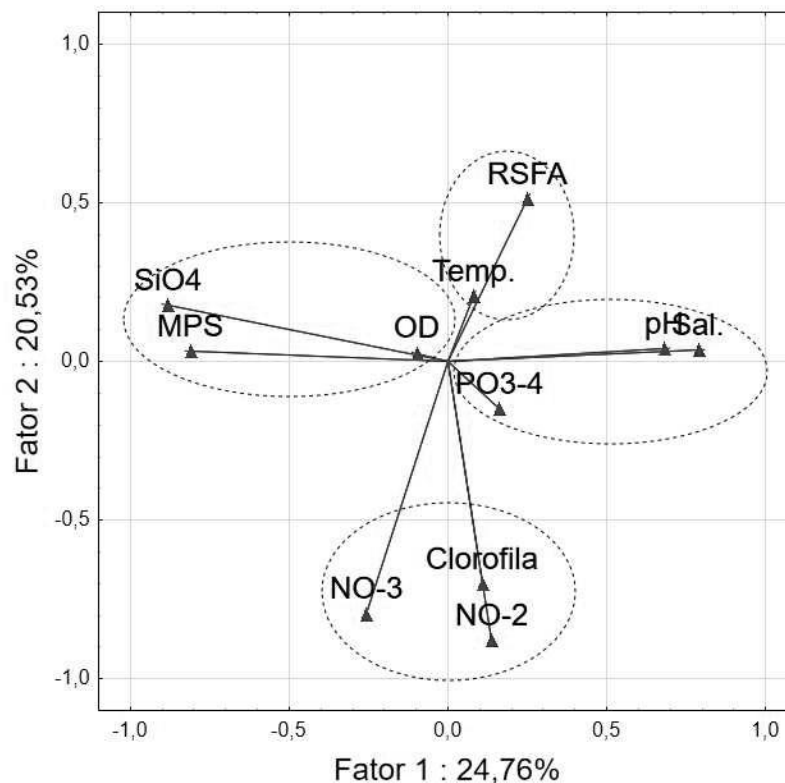


Figura 5- Análise de Componentes Principais para as variáveis ambientais da Plataforma Continental Maranhense

Tabela 3- Resumo da Análise de componentes principais das variáveis ambientais da Plataforma Continental Maranhense

Variáveis	Fator 1	Fator 2
Clorofila-a	0,108063	-0,700591
NO-3	-0,256348	-0,795732
NO-2	0,137253	-0,878783
PO ₃ ⁻⁴	0,161864	-0,150469
SiO ₄	-0,880690	0,176737
pH	0,681789	0,038691
Temperatura	0,082002	0,204621
Salinidade	0,789641	0,036717
OD	-0,097793	0,024947
MPS	-0,810946	0,031727
RSFA	0,251063	0,511271

4.2 Composição taxonômica e densidade celular

A comunidade fitoplanctônica da PCM foi composta por 68 táxons. A Divisão Bacillariophyta foi a mais representativa com 55 táxons (81%), seguido por Miozoa com 11 táxons (16%) e Cyanobacteria com dois táxons (3%). As diatomáceas em sua maioria foram cêntricas com 42 espécies (76%) e 13 espécies de penadas (24%) e quanto à forma de vida, 31 espécies foram coloniais (57%) e 24 foram solitárias (43%). O gênero mais representativo das diatomáceas (Bacillariophyta) foi o *Chaetoceros* com 12 espécies, seguido por *Coscinodiscus* e *Thalassiosira* com três espécies cada. Quanto aos dinoflagelados (Miozoa) foram identificadas cinco espécies do gênero *Protoperidinium*. (Material Suplementar)

Em relação à densidade celular do fitoplâncton na PCM, os valores apresentaram diferenças significativas entre as massas de água ($p < 0,005$), com um gradiente decrescente sentido AR para AC. Os maiores valores foram registrados em AR de TC ($9,1 \text{ cels} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 10^4 \pm 7,4$), com valores médios 3x mais altos em relação aos demais transectos. O menor valor médio de densidade celular foi registrado em AC de TSM, $0,8 \pm 0,5 \text{ cels} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 10^4$. (Figura 6).

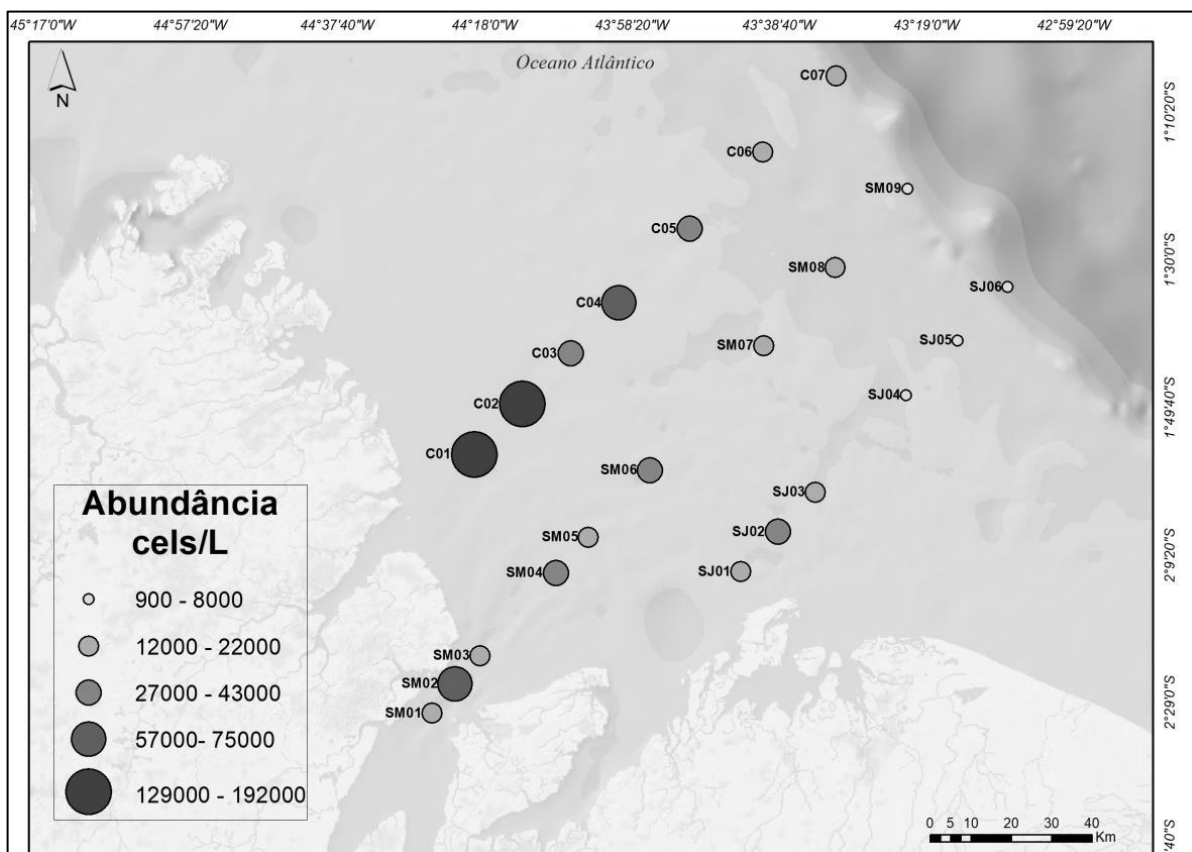


Figura 6- Variação da densidade celular (cels.L-1) nos três transectos da Plataforma Continental Maranhense

Das três divisões taxonômicas que compõem a comunidade fitoplanctônica da PCM, a divisão Bacillariophyta foi a que teve a maior densidade celular em toda a Plataforma, com contribuição maior que 60% (Figura 7), seguido da divisão Miozoa que teve sua maior contribuição na massa de AC com em TSM e TSJ. A divisão Cyanobacteria também teve sua maior contribuição nas massas de água costeira, representada pela contribuição da abundancia da espécie do gênero *Tricodesmium*.

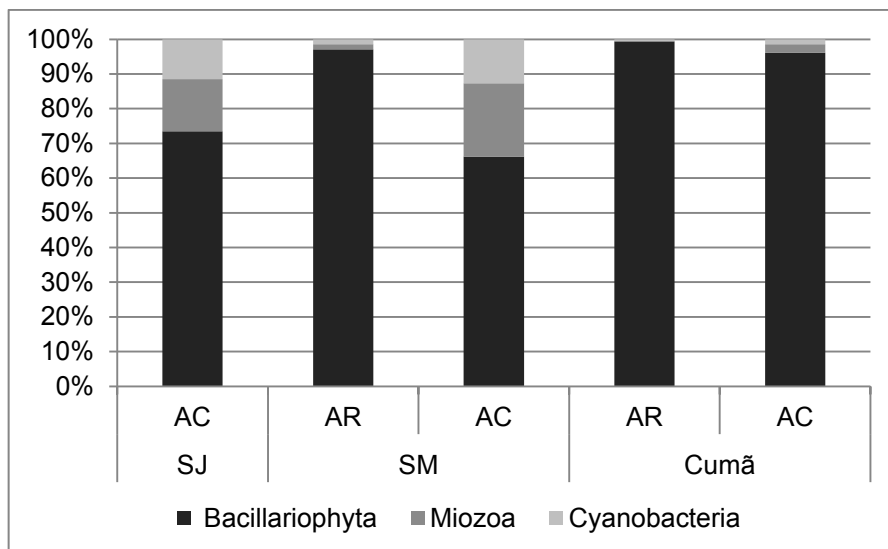


Figura 7- Contribuição da densidade celular das divisões taxonômicas nos três transectos da Plataforma Continental Maranhense.

Dentre os índices ecológicos o índice de diversidade mostrou que a maior diversidade na PCM foi em AR de TC (2,31), e a menor diversidade foi na AC de TSM (0,79). O mesmo padrão foi observado no índice de riqueza, cuja maior riqueza ocorreu com a maior diversidade. Inversamente a diversidade, o índice de Dominância foi menor em TC em AR (0,14) e maior, em AC do TSM (0,55). A uniformidade das espécies teve valores próximos em toda Plataforma Continental, variando de 0,7 a 0,8. (Fig.8)

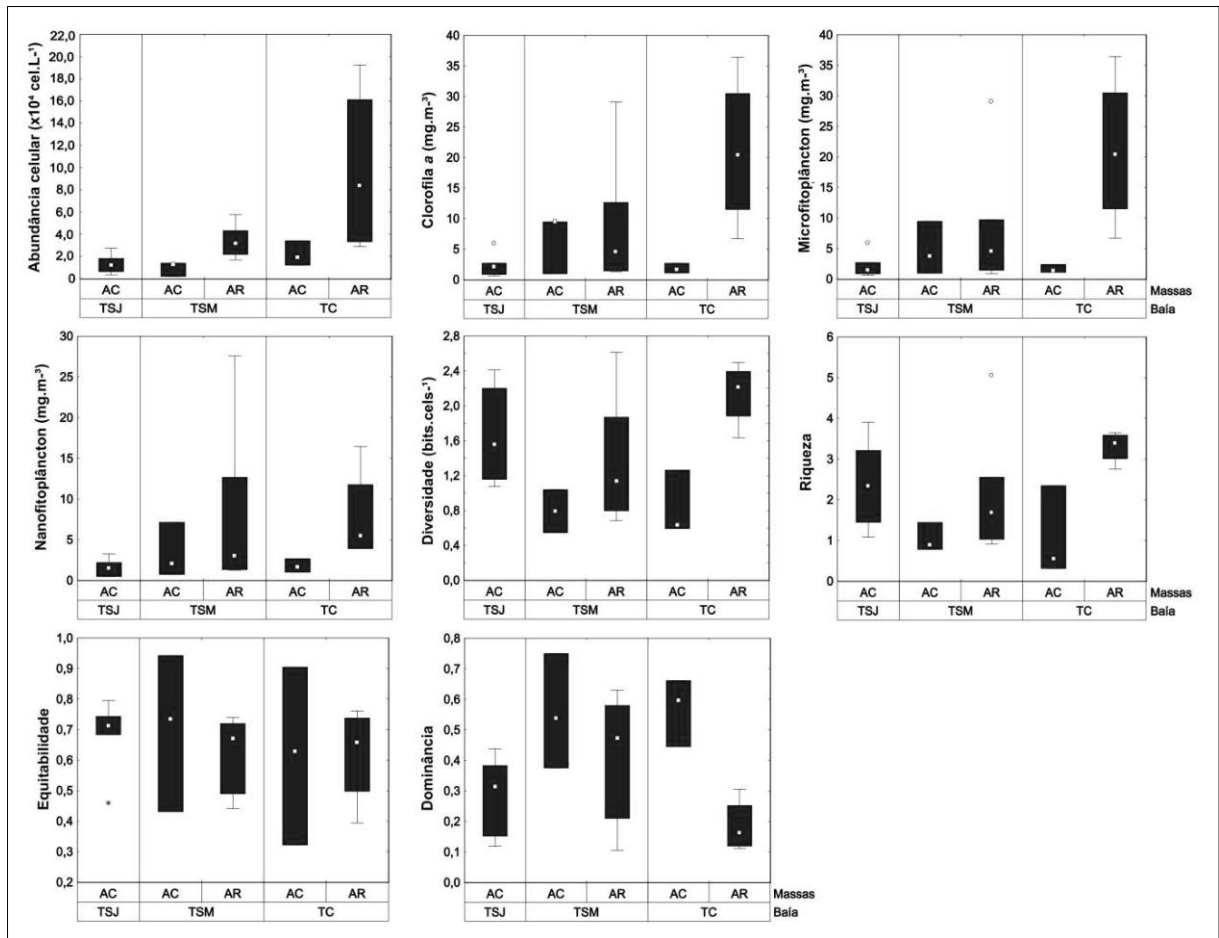


Figura 8- Variação dos dados biológicos e índices ecológicos na Plataforma Continental Maranhense

O diagrama de Olmstead e Tukey (O-T) (Figura 9), baseado na correlação entre densidade e frequência fitoplanctônica evidenciou que a maioria das espécies da Plataforma Continental Maranhense foram raras, com densidade $<3,6 \log \text{cels} \cdot \text{L}^{-1}$ e frequências abaixo da média ($<8\%$). Em seguida, as espécies dominantes apresentaram valores de densidade $>3,6 \log \text{cels} \cdot \text{L}^{-1}$ e frequência acima da média ($> 8\%$) e por último, as espécies ocasionais que apresentam densidade maior que a média ($>3,6 \log \text{cels} \cdot \text{L}^{-1}$) e frequência abaixo da média ($<8\%$). Dentre as espécies dominantes destacam-se *Thalassiosira sp1*, *Thalassionema nitzschioides*, *Guinardia striata*, *Skeletonema costatum*, *Leptocilindrus danicus*, *Trieres regia*, *Thalassiosira gravida* e *Ditylum brightwellii*.

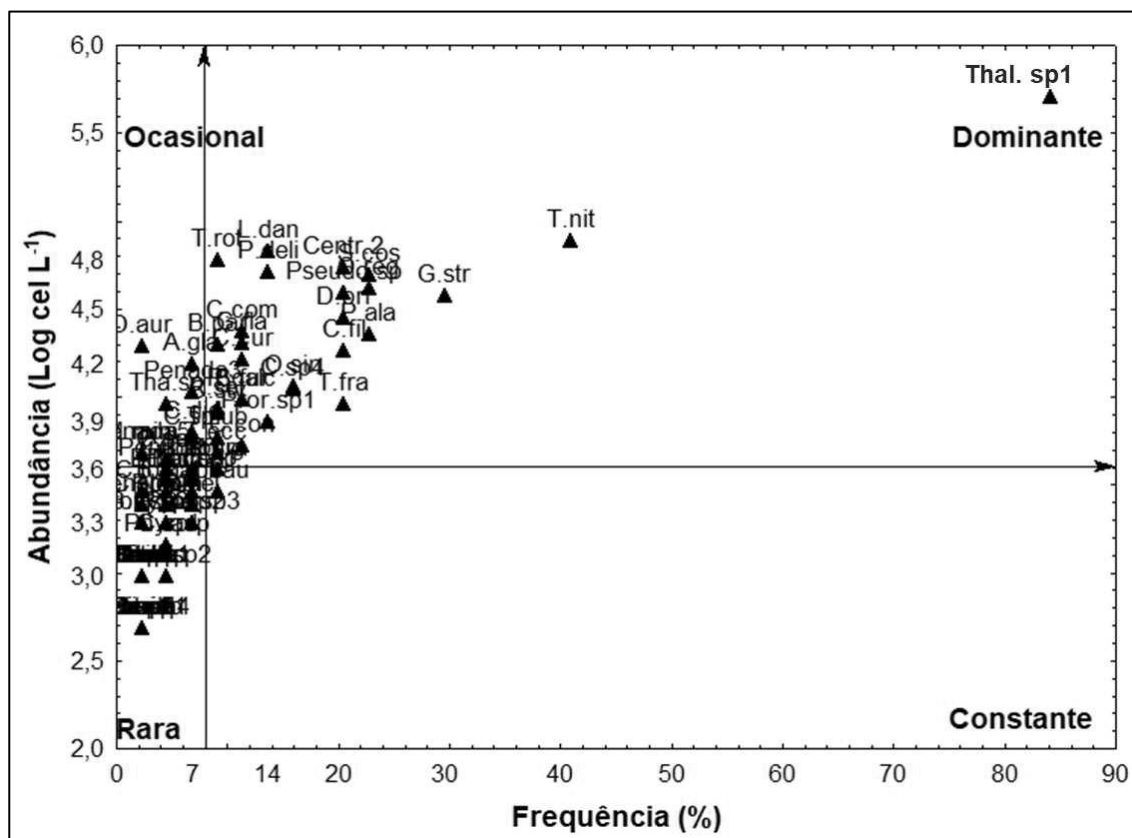


Figura 9- Diagrama OT com as categorias das espécies da Plataforma Continental Maranhense

4.3 Biomassa fitoplanctônica

Na Plataforma Continental Maranhense, os valores médios de clorofila *a* variaram de 2,75 a 22,56 mg·m⁻³, com diferenças significativas ($p < 0,005$) entre as massas de água. As concentrações mais altas foram registradas nos pontos de AR, com valores decrescendo em direção a massa de AC (Figura 10). O maior valor de clorofila *a* foi registrado em AR de TC e a menor foi em AC de TSJ (Figura 7).

Quanto às porções do fitoplâncton, o nanofitoplâncton ($< 20 \mu\text{m}$) foi o mais representativo em AC nos três transectos estudados, com a maior contribuição TSM com cerca de 80% da biomassa. Na massa de AR, o microfitoplâncton ($> 20 \mu\text{m}$) foi o que teve maior contribuição em TSM e TC, sendo que em TSM a contribuição foi de 70%.

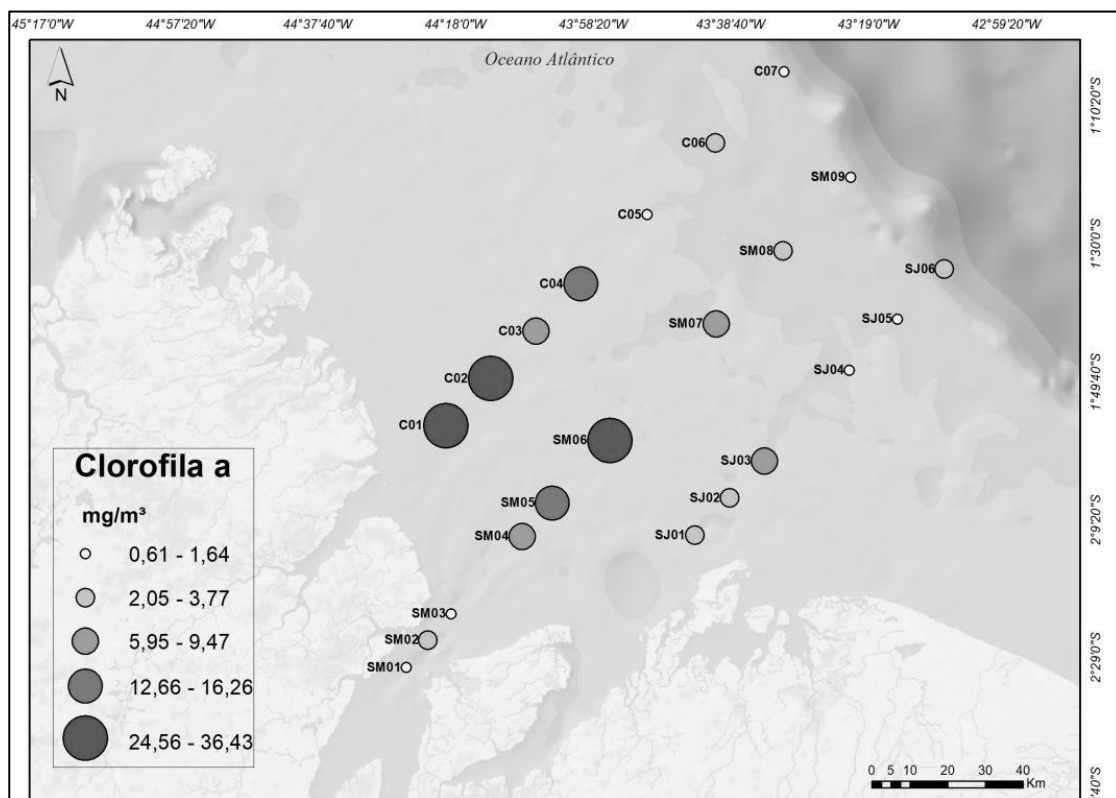


Figura 10 - Variação da Clorofila a ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) na Plataforma Continental Maranhense.

4.4 Estrutura da comunidade

A análise de SIMPER revelou o percentual de contribuição das espécies caracterizantes das massas de água nos diferentes transectos da Plataforma Continental Maranhense, demonstrando que TC registrou maiores similaridades nos grupos AR (36,16 %) e AC (34,96%), seguido pelo Transecto São Marcos (TSM) nos grupos AR (31,87%) e AC (33,62%) e a menor similaridade foi do transecto São José (TSJ) em AR (15,81%).(Figura 11)

As espécies caracterizantes para a massa de água costeira em TSJ foram as diatomáceas *Thalassiosira* sp₁ (49,06%), *T. nitzschoides* (19,57%) e *G. striata* (6,62%). Em TSM, as espécies caracterizantes em AR foram as diatomáceas *Thalassiosira* sp₁ (76,17%) e *T. nitzschoides* (6,44%) e na massa AC foram *Thalassiosira* sp₁ (84,88%) e a cianobactéria *T. erythraeum* (4,98%). No transecto Cumã (TC), as espécies representantes para a massa AR foram todas do grupo das diatomáceas, *Thalassiosira* sp₁ (34,59%), *T. nitzschoides* (11,36%), *T. regia* (10,61%), *S. costatum* (5,87%), *D. brightwellii* (8,87 %).

A espécie responsável pela formação dos três grupos nas duas massas de água foi *Thalassiosira* sp₁ que apresentou maiores contribuições e maiores densidades médias em

todas as massas de água de todos os transectos, sendo, portanto, considerada como a espécie caracterizante de toda a Plataforma Continental Maranhense.

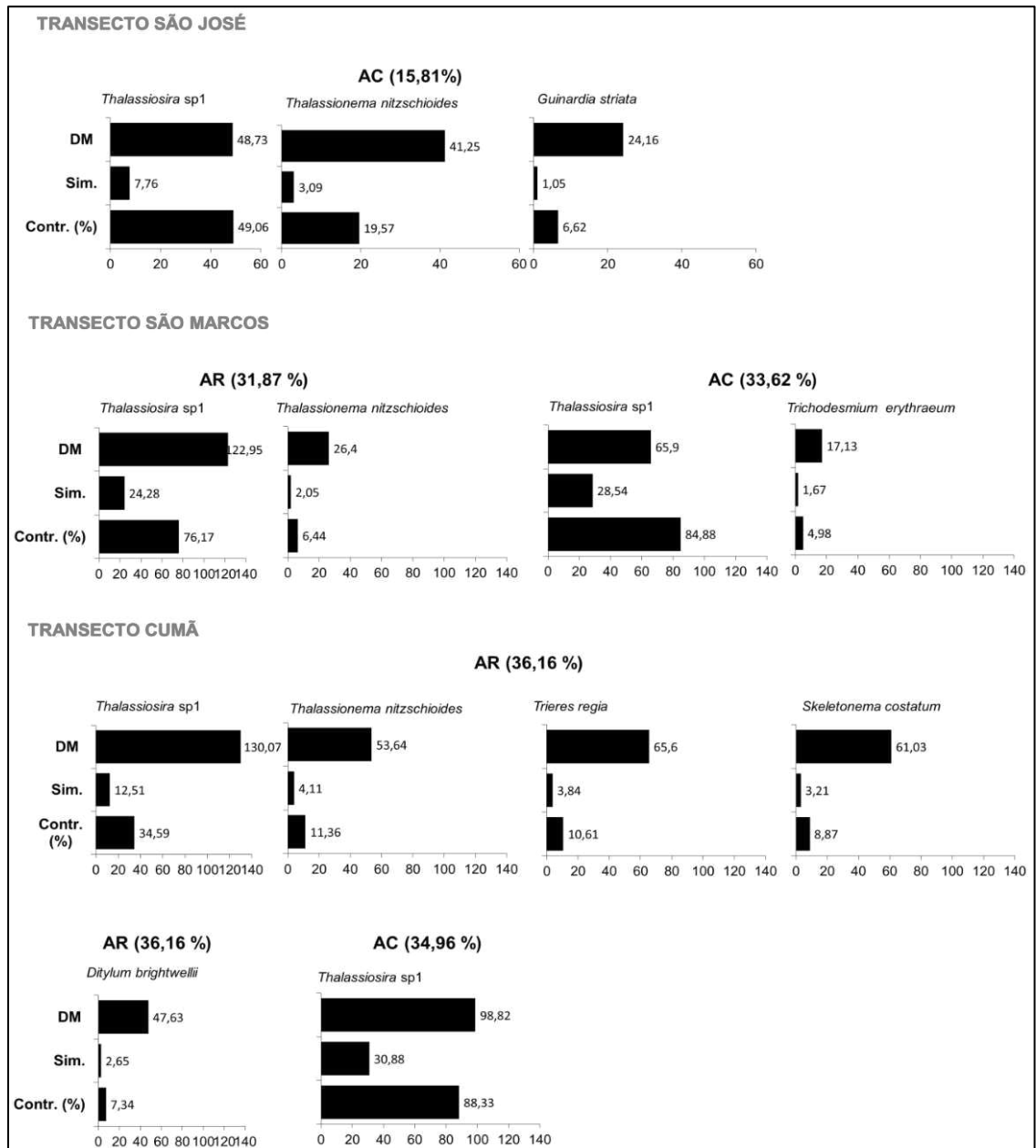


Figura 11 Análise de Simper das espécies caracterizantes da Plataforma Continental Maranhense, nas duas massas de água (AR e AC) dos três transectos estudados. (DM=Densidade média, Sim=Similaridade, Contr.=Contribuição)

A partir da análise de agrupamento com os valores de densidade celular da Plataforma Continental Maranhense percebeu-se a formação de quatro grandes grupos, os quais tiveram relacionados com as massas de água. (Figura 12).

O grupo 1 que foi o maior relacionou com a maioria dos pontos de TSM e de TC. O grupo 2 agrupou os três primeiros pontos (mais internos) de TSJ e o ponto 5 TSM, o grupo 3 agrupou os pontos 4 TSJ (AC) e o ponto 4 de TC, e o grupo 4 agrupou os pontos mais externos de TSJ (SJ5 e SJ6) e o ponto mais externo de TSM (SM9).

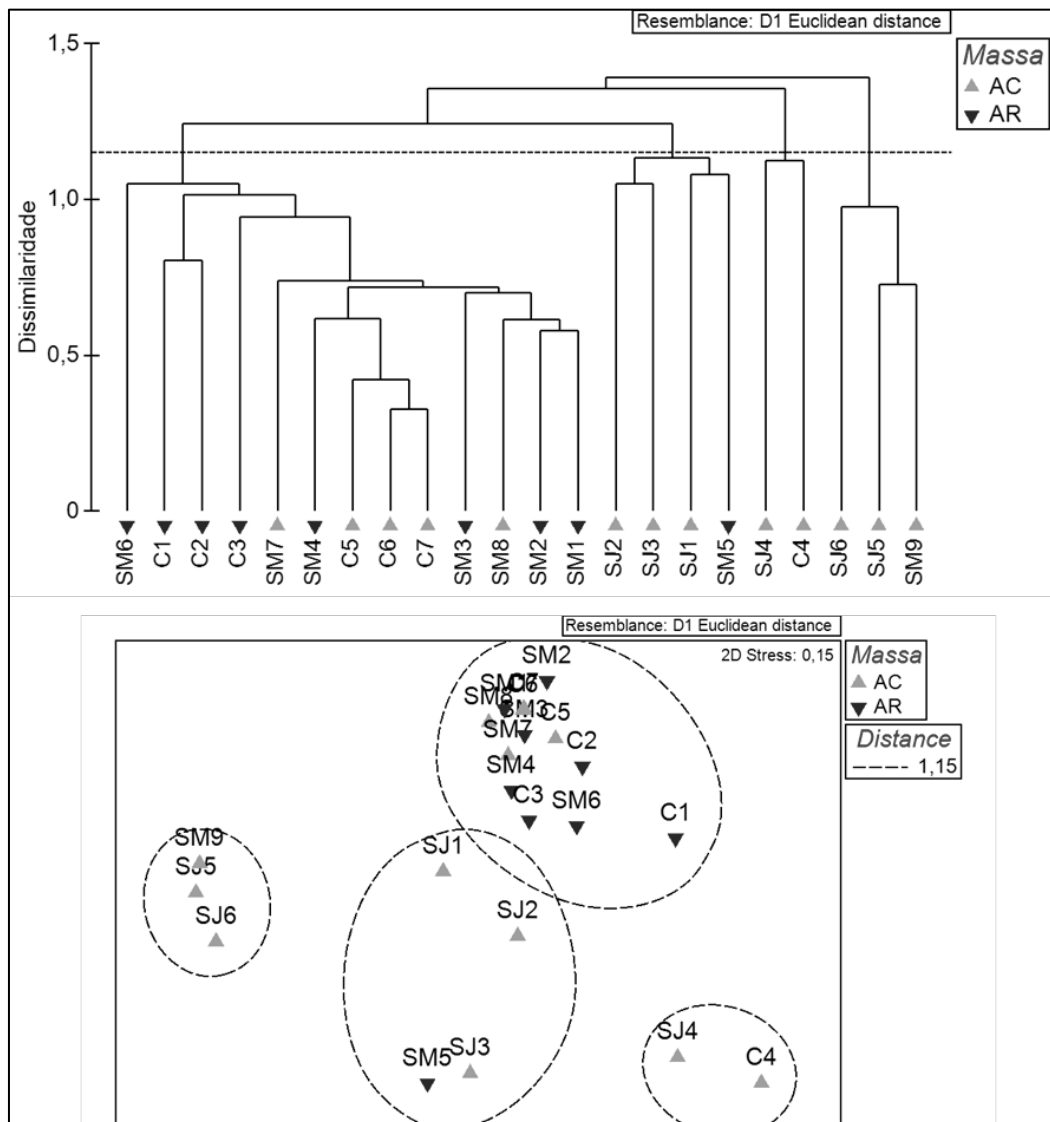


Figura 12- Síntese das associações fitoplancônicas ao longo da PCM: agrupamento das amostras a partir da matriz dos táxons fitoplancônicos e nMDS

Das espécies estudadas, apenas 7 táxons foram selecionados para análise, por apresentarem valores de Indval acima 44% ($p < 0,5$). Destas, apenas as diatomáceas *Thalassiosira* sp1, *Ditylum brightwellii*, *Trieres regia*, *Odontella chinensis* foram indicadoras da massa de água de rio. Em relação aos três transectos estudados, apenas as espécies

Thalassiosira sp₁, *Pseudonitzschia pugnans*, *Skeletonema costatum* e *Proboscia alata* foram indicadoras de TC. (Tabela 4)

Tabela 4- Valor Indicador (IndVal) para espécies de fitoplâncton na Plataforma Continental

Grupo	Táxons	Indval	P
AR	<i>Thalassiosira</i> sp ₁	69,9%	0,017
	<i>Ditylum brightwellii</i>	54,4%	0,008
	<i>Trieres regia</i>	53,8%	0,009
	<i>Odontella chinensis</i>	44,4%	0,019
TC	<i>Thalassiosira</i> sp ₁	62,8%	0,004
	<i>Pseudonitzschia pugnans</i>	57,1%	0,012
	<i>Skeletonema costatum</i>	53,4%	0,025
	<i>Proboscia alata</i>	45,8%	0,026

4.5 Relações das variáveis ambientais sobre a comunidade fitoplanctônica

Para quantificar as variáveis explicativas foi realizado testes marginais (modelo linear baseado em distância-DistLM) para obter uma correlação significativa entre o fitoplâncton e cada uma das variáveis ambientais. Os resultados mostraram que a correlação significativa ($p \leq 0,05$) foram observadas com as variáveis NID, pH, MPS, RSFA e Clorofila *a*. Os testes sequenciais também apresentaram correlação significativa ($p \leq 0,05$) de ordem de importância, RSFA, Clorofila, NID e pH (Tabela 5).

O DistLM em conjunto selecionou as variáveis NID, SID, pH, Sal., RSFA, Clorofila como as variáveis determinísticas, que explicaram a distribuição da comunidade fitoplanctônica nos transectos estudados. O modelo explicou 67% da variação total no Eixo 1 e 27,6% no Eixo 2.

O fator massas de água foi o que mais influenciou na estrutura da comunidade (Figura 12; Tabela 5), no qual as espécies de diatomáceas cêntricas se relacionaram com a massa de água da porção mais interna da plataforma (AR), como *Ditylum brightwellii*, *Proboscia alata*, *Chaetoceros peruvianus*, *Rhizosolenia setigera*, *Trieres regia*, *Thalassiosira gravida*, *Guinardia flaccida*, *Leptocylindrus danicus*, *Thalassiosira* sp., *Pseudosolenia calcar-avis* e algumas espécies de penadas como *Pseudo-nitzschia pugnans*.

A massa de água costeira (AC) se relacionou com as espécies de diatomáceas coloniais como *Chaetoceros curvisetus*, *Skeletonema costatum*, *Guinardia striata*,

Chaetoceros teres, *Bacteriastrum furcatum* e com o dinoflagelado *Ceratocorys horrida* e a cianobactéria *Trichodesmium erythraeum*.

Tabela 5– Testes marginal e sequencial (modelo linear baseado em distância, DistLM) de variáveis ambientais e a densidade de fitoplâncton da PCM.

TESTES MARGINAIS			
Variáveis	SS(trace)	Pseudo-F	P
NID	12,135	3,5222	0,044
PID	1,3717	0,34436	0,738
SID	3,8483	0,9971	0,356
pH	14,436	4,335	0,029
T °C	2,9194	0,74742	0,47
Salinidade	9,0714	2,521	0,076
OD	4,2852	1,1166	0,333
MPS	14,371	4,3111	0,027
RSFA	26,779	9,871	0,003
Clorofila	17,479	5,5002	0,009
TESTES SEQUENCIAIS			
Variáveis	SS(trace)	Pseudo-F	P
RSFA	26,779	9,871	0,001
Clorofila	16,627	8,3949	0,001
NID	12,815	9,2946	0,004
pH	4,4396	3,7037	0,043
Salinidade	2,0257	1,7661	0,18
SID	1,9605	1,7941	0,194
AIC	R²	RSS	Seleção
7,5255	0,79773	16,391	NID, SID, pH, Sal., RSFA, Clorofila

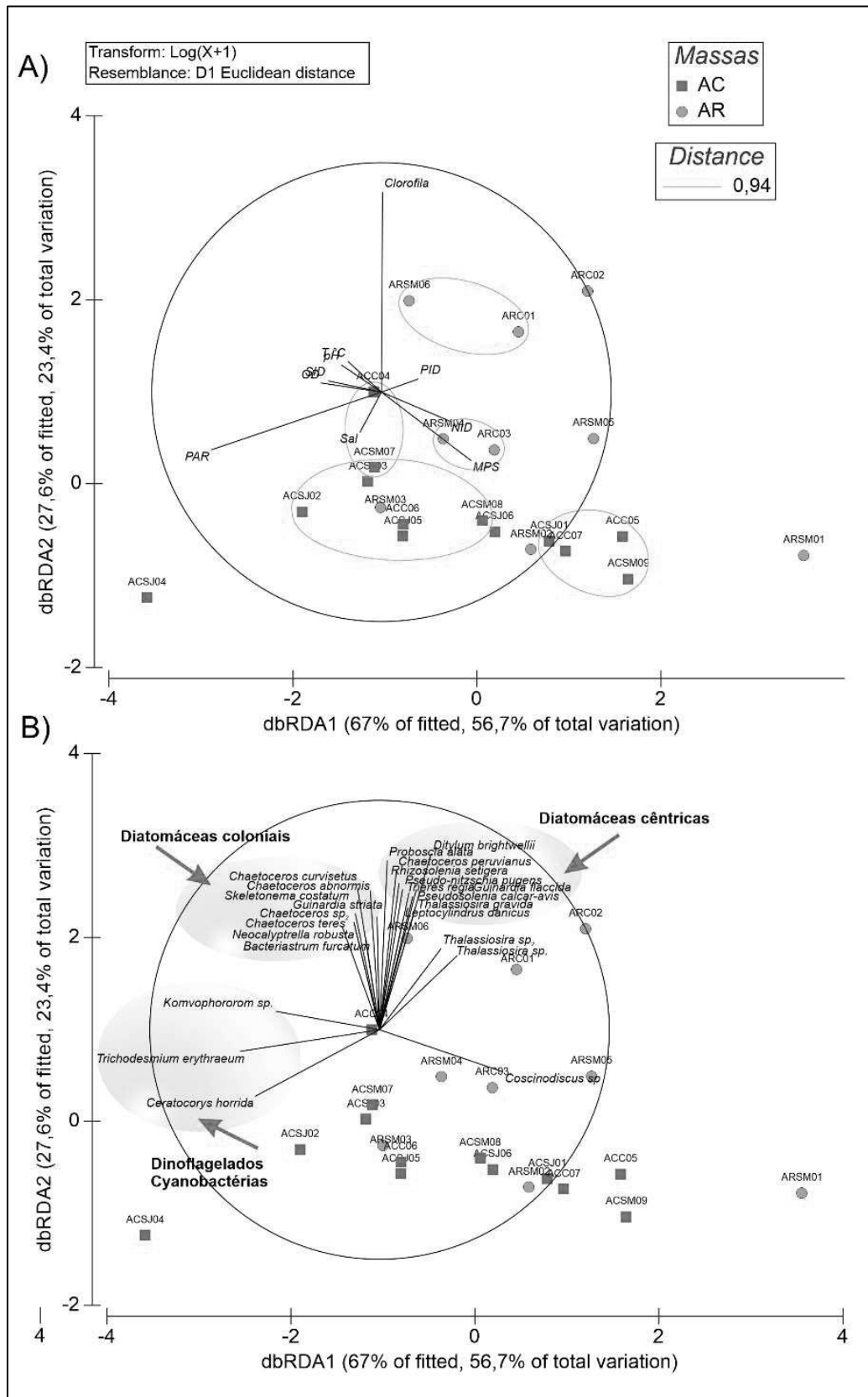


Figura 13- Representação gráfica do dbRDA, das variáveis ambientais e biológicas da PCM.

5. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir desse estudo contribuíram para o melhor entendimento dos processos físicos, químicos e biológicos ao longo da Plataforma Continental Maranhense (Costa Norte Amazônica), regidos pela influência fluvial que deságuam nos complexos estuarinos de São José, São Marcos e Cumã. A contribuição desses diferentes fatores governados pelo padrão de precipitação típico da região é extremamente complexa, além de refletir diretamente na dinâmica da biota marinha. Assim, os gradientes ambientais (disponibilidade de luz, nutrientes e salinidade) identificados ao longo da PCM condicionaram a composição e distribuição da densidade e biomassa fitoplanctônica.

5.1 Padrões ambientais da Plataforma Continental Maranhense

A estrutura termohalina na Plataforma Continental do Maranhão (PCM) demonstrou a presença de duas massas de água, a de rio (AR) e água costeira (AC). As variáveis ambientais podem ser utilizadas para caracterizar massas de água ao longo das Plataformas continentais e águas costeiras adjacentes e também são importantes para a determinação de processos biogeoquímicos em resposta a insumos terrestres e oceânicos (BRAGA et al., 2008)

A massa AR menos salina e quente, associada a influencia da descarga Continental através do conjunto de rios caudalosos que deságuam na PCM. Enquanto que AC, foi caracterizada por maior salinidade e menor temperatura da água (DIAS, 2016)

A PCM apresentou um gradiente costa-oceano com variação espacial de algumas variáveis ambientais, dentre estas as variáveis salinidade e radiação solar, enquanto que temperatura da água, OD, MPS e nutrientes registraram um gradiente decrescente. Comumente gradientes horizontais e verticais de temperatura da água, salinidade, nutrientes e biomassa e composição do fitoplâncton no Oceano Atlântico estão amplamente associados à presença de diferentes massas de água (BRANDINI et al., 2014), corroborando como o encontrado para a PCM, no qual esses gradientes são influenciados pela rede hidrográfica local e interferem na distribuição e densidade dos organismos fitoplanctônicos.

A salinidade é um parâmetro importante para os ambientes marinhos; sua dinâmica é controlada pelo influxo de água doce dos rios, pelas marés e fatores geomorfológicos. Além disso, com capacidade de influenciar fortemente a distribuição das espécies de fitoplâncton (SIERRA et al., 2002)

As concentrações de OD foram maiores que 6,5 $\mu\text{mol/ml}$ em todas as massas de água da PCM, assim como, com os encontrados por Araújo et al. (2017), em estudo do plâncton na Plataforma do Amazonas com valores médios de 4,7 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. O oxigênio dissolvido é uma variável muito importante na dinâmica dos ambientes aquáticos, e sua concentração muda dependendo de processos bioquímicos e biológicos, como respiração e produção, além de oxigênio ser é um importante indicador da qualidade dos corpos d'água (GARDNER, L.R; KJERFVE, B., 2006) e este teve valores mais altos na água em AR no transecto Cumã que é uma região localizada nas reentrâncias Maranhenses e sendo uma área com menos atividades antrópicas.

As variações das massas de água na Plataforma Continental Maranhense foram influenciadas principalmente pela rede hidrográfica local, devido a presença de grandes bacias hidrográficas que deságuam na região. Santana et al. (2020) afirma que as descargas de grandes rios tropicais têm grande influência nas águas costeiras adjacentes, principalmente devido à transferência de sedimentos do continente, mudanças na dinâmica dos nutrientes e entrada de matéria orgânica. Todos esses mecanismos juntos podem alterar as propriedades físico-químicas dos ambientes marinhos costeiros e, conseqüentemente, afetar suas comunidades biológicas da Plataforma Continental Maranhense

Além da contribuição da descarga Continental dos rios da região para a Plataforma, existem outros fatores que podem contribuir com essas modificações, como é o caso das plumas estuarinas. Na Plataforma Norte do Brasil, a principal força que atua na direção e velocidade de dispersão das plumas estuarinas é a Corrente Norte do Brasil (CNB), principalmente na região Amazônica.

Castro et al., (2018) em um estudo das propriedades físico e químicas e distribuição dos nutrientes na Plataforma interna do Maranhão destacou que a dinâmica desses fatores que regulam os processos oceanográficos na PCM ainda não são totalmente compreendidos, especialmente aqueles relacionados a eventos regidos por descargas de água doce, energia das ondas, ventos alísios, padrões de macromarés e a Zona de Convergência Intertropical (ITCZ).

5.2 Variabilidade da biomassa fitoplanctônica e nutrientes

As distribuições de biomassa de plâncton são normalmente irregulares nas camadas superficiais do oceano, devido a uma combinação de processos físicos dinâmicos, disponibilidade de nutrientes e respostas e interações biológicas. Na PCM a biomassa

fitoplanctônica seguiu um padrão espacial decrescente no sentido costa-oceano, com os maiores valores na Água de Rio. Em estudo realizado por Neumann-Leitão et al., (2018) ao quantificar a biomassa fitoplanctônica na pluma estuarina do Amazonas, observou que os valores altos de biomassa do fitoplâncton e foram relacionados diretamente com a pluma estuarina do Amazonas.

A contribuição das frações do fitoplâncton para a biomassa da Plataforma variou de acordo com a massa de água, o nanofitoplâncton ($< 20 \mu\text{m}$) foi mais representativo na AC nos três transectos, com a maior contribuição em TCM (80%). De acordo com Giancesella e Saldanha-Corrêa (2008), ambientes oligotróficos, como as Plataformas continentais são caracterizadas por baixas concentrações de clorofila *a* e geralmente tem a comunidade composta por organismos com células de pequeno tamanho, e estes organismos acabam sendo o principal componente nesses locais. Esta predominância do nano e picoplâncton está relacionada à sua grande capacidade de competir por nutrientes e sua elevada tolerância às variações de condições ambientais (LOURENÇO e MARQUES, 2009). Nos pontos de AR, o microfitoplâncton ($>20 \mu\text{m}$) registrou maior contribuição, devido a contribuição das diatomáceas dominantes nessa região.

Nos pontos de massa AR ocorreu um aumento das concentrações de Clorofila *a* e dos nutrientes coincidindo com as maiores concentrações de MPS, quando comparado com os pontos de AC. Esses pontos estão mais próximos da zona costeira, uma região que é altamente dinâmica e produtiva, com grande influencia de manguezais e de macromarés que interferem no transporte de MPS e nutrientes para a PCM (OTSUKA et al., 2018). Assim as regiões de influência fluviais são locais que apresentam como característica produtividade e biomassa maior em relação a área oceânica adjacente. Outro fator a ser considerado é a maior concentração de nutrientes registrada na massa AR quando comparada aos pontos mais oceânicos. Segundo Chen et al., (2012) os nutrientes quando transportadas pelo gradiente salino, as altas concentrações oriunda dos sistemas hidrológicos continentais (rios) são diluídas por meio da mistura com a água do oceano.

Segundo Otsuka et al., (2018) os sistemas fluviais carregam grandes quantidades de nutrientes para regiões de Plataforma Continental que são o destino final dessa massa de água. Devido a essa dinâmica, a comunidade fitoplanctônica nas regiões de influencia de plumas estuarinas são diferentes em estrutura, densidade e biomassa das comunidades em água oceânica adjacentes. A influência estuarina favoreceu o crescimento do fitoplâncton em

função da descarga de nutrientes oriundos dessa massa de água, o mesmo cenário foi encontrado na PCM na qual a maior biomassa foi encontrada na massa de água de Rio principalmente na região de Cumã.

Nos pontos de AR do Transecto São Marcos, a biomassa fitoplanctônica foi menor em relação à Cumã. Apesar de ser uma região de grande influencia dos rios Mearim e Pindaré, o Transecto de São Marcos apresenta características distintas, sendo uma área sob intensa intervenção antropogênica (e.g. atividades portuárias e movimentação de transporte de embarcações). Os valores altos de MPS na Massa de AR também é um fator que dificulta a biomassa nessa região, segundo Goes et al., (2014) apesar da grande descarga de nutrientes pelos estuários, a biomassa e a produtividade do fitoplâncton é limitada por elevadas concentrações de material particulado em suspensão que restringe a quantidade de luz.

Os compostos nitrogenados e ortofosfato apresentaram baixas concentrações em toda a PCM, Araújo et. (2017) em estudo realizado com a comunidade planctônica na Plataforma Continental do Amazonas também encontrou valores baixos desses nutrientes. Valores semelhantes também foram encontrados nos trabalhos de Carvalho, et al. (2016) e Castro, et al. (2018) para estação chuvosa na Plataforma Continental Maranhense, com valores que não ultrapassam $1,5 \mu\text{mol. L}^{-1}$. Estes são considerados nutrientes essenciais para a produtividade primária e ao longo da Plataforma Continental, esses nutrientes muitas vezes ocorrem em baixas concentrações atuando como limitantes para manutenção da comunidade fitoplanctônica (SOUZA et al., 2013; SOUZA et al., 2011).

A Plataforma Continental Maranhense foi colimitada por nitrogênio e silicato corroborando com outros estudos na Plataforma Sul do Brasil que foi limitada por nitrogênio (BORDIN, ET AL., 2019; ISLABÃO, ET AL., 2017). Sabe-se que o nitrogênio desempenha um papel fundamental em ambientes aquáticos pois, juntamente com a luz, pode ser os principais fatores limitantes para produção primária e, conseqüentemente, afetam toda a teia trófica (YANG et al., 2006). Araújo et al., 2017 encontrou em estudo com a pluma estuarina do Amazonas um déficit de nitrogênio em relação ao fosforo, sendo a pluma responsável pelo transporte de nutrientes para a região costeira do Atlântico tropical.

5.3. Implicações dos padrões ambientais na determinação dos bioindicadores

A distribuição espacial da densidade celular da comunidade fitoplanctônica na PCM foi influenciada pelas condições termohalinas da região, principalmente pelas massas de água.

Os valores altos de densidade celular ocorreram nos pontos com valores mais elevados de nutrientes, alta temperatura, altas concentrações de OD e clorofila-*a* e salinidade menores (AC).

A comunidade fitoplanctônica da Plataforma em diversidade e densidade da Plataforma Continental foi menor do que encontrado em trabalhos de Plataforma Continental brasileira (CARVALHO et al., 2016; ARAUJO et. al, 2017; ISLABÃO et al., 2017, GONÇALVES-ARAÚJO et al., 2018), especialmente na Plataforma Sul do Brasil na qual a maior abundância está relacionada a fenômenos de ressurgência e presença de massas de água fria.

A predominância de diatomáceas e dinoflagelados é bastante comum em ambientes costeiros e marinhos. Na PCM, as divisões Bacillariophyta e Miozoa foram as mais abundantes, representando mais de 70% da comunidade, o mesmo foi verificado nos trabalhos de Carvalho et al., (2016) e Araujo et.al, (2017). Em relação aos dinoflagelados e cianobactérias, estes registraram suas densidades aumentadas nos pontos distantes da costa (AC).

As análises de dbRDA demonstraram que nas massas de AR houve um predomínio de diatomáceas (*T. regia* e *D. brightwellii*), em sua maioria cêntricas e solitárias, maiores que 20 µm. Carstensen et al., (2015) sugere que locais onde ocorre a interação entre ambientes estuarinos e costeiros favorecem a produtividade e crescimento de diatomáceas, pois essas espécies se adaptam bem a diversas condições ambientais e contribuem com funções ecológicas para o ecossistema (MALVIYA et al., 2016; ALEXANDER et al., 2015). Outra razão que possa explicar o predomínio das diatomáceas nessas massas de água, é a sua eficiência nas plumas de rios tropicais, pois apresenta uma rápida assimilação de compostos nitrogenados e fósforo que chegam na Plataforma por meio dessa massa de água. (SUBRAMANIAM et al., 2008). Vale ressaltar que esse grupo tem importante papel na cadeia trófica devido ao seu elevado valor nutricional para os consumidores primários e seu papel único na ciclagem da sílica por utilização biológica (REED et al., 2016).

A diatomácea com morfologia tipo penada, *T. nitzschioides* foi espécie caracterizante em massas de AR tanto do TSM como de TC. Sabe-se que espécies com esse tipo de morfologia são associadas a presença de plumas estuarinas, conforme o estudo de Gonçalves-Araujo et al., (2018) que associou alta densidade dessa espécie a pluma estuarina no sul do Brasil.

As menores espécies do fitoplâncton podem ser responsáveis por cerca de 50-80% das taxas de produção primária em águas oligotróficas. Seu menor biovolume permitem taxas de crescimento menores e mais eficiência em relação a células maiores em ambientes de baixa disponibilidade de nutrientes, como as Plataformas. Assim em águas oceânicas oligotróficas o nanoplâncton representa uma importante fonte de carbono para a teia trófica marinha (ISLABÃO et al., 2017). A análise do IndVal mostrou que a diatomácea *Thalassiosira sp1* de diâmetro celular $\leq 12,5 \mu\text{m}$, portanto uma espécie nanoplânctônica, foi mais representativa e caracterizante em toda a PCM, mesmo nos pontos mais distantes da costa na AC. Sabe-se que o gênero *Thalassiosira* tem ampla distribuição em águas tropicais e contribuem em densidade em ambientes de Plataforma Continental, cheando a contribuir com mais de 70% nas Plataformas do sul do Brasil conforme Fernandes e Frassão-Santos, (2011); Islabão et al., (2017).

Os dinoflagelados registraram uma baixa participação na PCM (16%), o mesmo verificado por Carvalho et al., (2016) em um transecto realizado próximo ao TSM. Essa constatação não coincide com outros estudos de Plataforma Continental no Brasil, como o de Islabão et al., (2017) no qual registrou alta densidade e ocorrência de dinoflagelados na Plataforma externa em direção ao talude na Plataforma Continental do atlântico sul. Glibert (2016) comenta que apesar de algumas espécies estejam adaptadas a ambientes com coluna de água mista e dinâmica, muitas preferem condições de baixa turbulência. NA PCM as marés apresentam amplitude variando de 3,3 metros a 7 metros de altura em épocas de maré viva. (SOUZA FILHO, 2005) e ventos com velocidades de 2,0 m.s e 11,6 m.s (AZEVEDO-CUTRIM et al., 2008), sendo assim as condições não favorecem a baixas turbulências.

Quanto a maior contribuição na PCM de dinoflagelados em AC, sabe-se que o aumento dos níveis de salinidade aumenta significativamente a incidência de dinoflagelados marinhos em regiões costeiras e marinhas (SILVA et al., 2019).

O aumento da densidade de cianobactéria *Trichodesmium erythraeum* e a sua grande ocorrência em AC, tornou essa espécie como caracterizante dessa massa de água, conforme a análise do SIMPER e pela dbRDA. Essa espécie tem ampla distribuição em águas oligotróficas no atlântico tropical e subtropicais, onde temperaturas estão acima de 20 °C, sendo planctônica marinha, conhecido por sua capacidade de formar florações e produzir toxinas em ambientes marinhos. A capacidade de se acumular na superfície da água é devido a grande e muito resistente vesículas de gás (SANT'ANNA et al., 2018). Ainda mais, essa

espécie tem importante papel em ambientes com baixa disponibilidade de nutrientes, como é o caso das AC da PCM, devido a sua capacidade em fixar nitrogênio molecular (N_2) (YEUNG et al., 2012; LUO et al., 2012).

6. CONCLUSÃO

A comunidade fitoplanctônica apresentou uma estrutura que foi se modificando de acordo com as variações ambientais. Essas variações estiveram estritamente relacionadas à distribuição espacial das duas massas de água observadas durante o período de. A massa de água de rio (AR) foi relacionada com a proximidade da costa e por isso, influenciada pelo fluxo Continental dos rios e pelos complexos estuarinos.

A predominância de diatomáceas cêntricas foi registrada principalmente na massa de Água de Rio. Os dinoflagelados e cianobactérias tiveram maiores densidades na massa de Água Costeira e foram relacionados ao aumento da salinidade. A principal espécie indicadora da Plataforma Continental Maranhense foi a *Thalassiosira* sp. uma espécie cêntrica e nanoplactônica.

A distribuição da densidade e biomassa fitoplanctônica coincidiram com a distribuição das massas de água, pois encontramos os valores mais elevados em massas de água de Rio. Essas massas têm características distintas por serem influenciadas pela rede hidrográfica e estuarina dos complexos São Marcos e Cumã com valores elevados de nutrientes e MPS.

Dos três transectos estudados o de Cumã foi o que teve maior densidade, biomassa e diversidade de espécies, por está localizado em uma área mais protegida e fazendo parte das reentrâncias Maranhenses com uma área extensa de manguezais, sendo portanto um local de grande importância ecológica para a entrada de matéria orgânica e nutrientes para a Plataforma Maranhense favorecendo o crescimento do fitoplâncton.

Os processos geoquímicos, químicos e físicos que atuam na Plataforma Continental Maranhense ainda precisam ser melhor compreendidos, bem como a sua relação com todos os organismos aquáticos que estão inseridos nesse ambiente. Assim mais estudos devem ser realizados com outros aspectos para gerar mais subsídios para a compreensão da dinâmica desse ambiente.

7. REFERÊNCIAS

- ARAUJO M, NORIEGA C, HOUNSOU-GBO GA, VELEDA D, ARAUJO J, BRUTO L, FEITOSA F, FLORES-MONTES M, LEFÈVRE N, MELO P, OTSUKA A, TRAVASSOS K, SCHWAMBORN R., NEUMANN-LEITÃO (2017) A Synoptic Assessment of the Amazon River-Ocean Continuum during Boreal Autumn: From Physics to Plankton Communities and Carbon Flux. **Front. Microbiol.** 8:1358. doi: 10.3389/fmicb.2017.01358
- ARRIGO, K.R. Marine microorganisms and global nutrient cycles. **Nature** 437, 349–355, 2005.
- BARTON, A. D.; PEARSHING, A. J.; LITCHMAN, E.; RECORD, N. R.; EDWARDS, K. F.; FINKEL, Z. V.; KIORBOE, T.; WARD, B. A. The Biogeography of Marine Plankton Traits. **Ecology Letters**, V.16(4), p.522–34, 2013.
- BERASATEGUI, A. D.; MARQUE, S. M.; GÓMEZ-ERACHE, M.; RAMÍREZ, F. C.; MIANZAN, H. W.; ACHA, E. M. Copepod Assemblages in a Highly Complex Hydrographic Region. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 66(3–4), p.483–92, 2006.
- BRAGA, E. S., CHIOZZINI, V. C., BERBEL, G. B. B., MALUF, J. C. C., AGUIAR, V. M. C., CHARO, M., MOLINA, D., ROMERO, S. I., EICHLER, B. B. Nutrient distribution over the southwestern South Atlantic Continental shelf from Mar Del Plata (Argentina) to Itajaí (Brazil): Winter-summer aspects. Brazil. **Continental Shelf Research**, 28: 1649-1661, 2008.
- BRASIL. Diretoria de Hidrografia e Navegação. Cartas de correntes de maré: proximidades da baía de São Marcos e portos de São Luís e Itaquí. Rio de Janeiro, 1972.
- BRIEN, C.J.O.; PELOQUIN, J.A.; VOGT, M.; HEINLE, M.; GRUBER, N.; AJANI, P.; ANDRULEIT, H.; ARÍSTEGUI, J.; BEAUFORT, L.; ESTRADA, M.; KARENTZ, D.; KOPCZYNSKA, E.; LEE, R.; POULTON, A.J.; PROTCHARD, T.; WIDDICOMBE, C. Global marine plankton functional type biomass distributions: Coccolithophores. **Earth System Science data**, v. 5, p. 259- 276, 2013.
- CARVALHO, R. C.Q.; CUTRIM, M. V.J.; ESCHRIQUE, S. A.; AZEVEDO-CUTRIM, A. C.G.; MOREIRA, E. G.; SILVEIRA, P. C.A.; COELHO, J. M. Microphytoplankton composition, chlorophyll - a concentration and environmental variables of the Maranhão Continental Shelf, Northern Brazil. **Latin American Journal of Aquatic Research**, vol. 44, n. 2, pp. 256-266, 2016.
- CASTRO, B.M.; MIRANDA, L.B. Physical oceanography of the western Atlantic Continental shelf located between 40° N and 34° S. *The Sea*. v. 11 (8), 1996, p. 209-251.
- DUFRENE, M., LEGENDRE, P., 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol. Monogr.* 67 (3), 345–366. <https://doi.org/10.1890/0012-9615>.

EDIGER, D., SOYDEMIR, N., KIDEYS, A. E. Estimation of phytoplankton biomass using HPLC pigment analysis in the southwestern Black Sea. **Deep Sea Research Part II Topical Studies in Oceanography** 53(17-19):1911-1922, 2006.

EL-ROBRINI, M. et al. Registros das oscilações do nível do mar na Plataforma Continental norte do Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DO QUATERNÁRIO DA AMAZÔNIA. 1993. Manaus. Resumos e contribuições científicas. Manaus: [s.n.], 1993. p. 83-85.

EL-ROBRINI, M. Evolution rapide des fonds d'une zone estuarine: le secteur d'Itaqui-baie São Marcos – Maranhão (Brésil). In: MARIE-THÉRÈSE PROST. Évolution des littoraux de guyane et de la zone caraïbe méridionale pendant le quaternaire. Cayenne-Guyane: Orstom, 1990. p. 159-176.

EL-ROBRINI, M.; TUMA, L.S.R.; SILVA, C.A. da. Estudo sedimentológico das areias litorâneas do NE do Pará e do NW do Maranhão. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO. 1993. São Paulo. Resumos...São Paulo: [s.n.], 1993. p. 89.

Fortunato, C.S., Eiler, A., Herfort, L., Needoba, J.A., Peterson, T.D., Crump, B.C., 2013. Determining indicator taxa across spatial and seasonal gradients in the Columbia River coastal margin. *ISME J.* 7, 1899–1911. <https://doi.org/10.1038/ismej.2013.79>

GARDNER, L.R.; KJERFVE, B. (2006) Tidal Fluxes of Nutrients and Suspended Sediments at the North Inlet-Winyah Bay National Estuarine Research Reserve. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 70, 682-692. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.06.034>

GONÇALVES-ARAÚJO, R., SOUZA, M.S., TAVANO, V.M., MENDES, C. R., RONALD BUSS DE SOUZA, R. B. SCHULTZ, C., POLLERYE, R. C. Phyto- and protozooplankton assemblages and hydrographic variability during an early winter survey in the Southern Brazilian Continental Shelf. **Journal of Marine Systems**, 184, 2018, p. 36-49. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2018.04.005>.

GONZÁLEZ-GORBEÑA, E., ROSMAN, P.C.C., QASSIM, R.Y. Assessment of the tidal current energy resource in São Marcos Bay, Brazil. **J. Ocean Eng. Mar.** Energy 1, 421–433. 2015. <https://doi.org/10.1007/s40722-015-0031-5>.

GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M.; KREMLING, K. **Methods of seawater analysis**. 2ed. Verlag Chemie, New York, v. 16, n. 3, p. 581-614, 1983.

ISLABÃO C.A., MENDES, C.R.B. , DETONI, A.M.S., ODEBRECHT, C. Phytoplankton community structure in relation to hydrographic features along a coast-to-offshore transect on the SW Atlantic Continental Shelf. **Continental Shelf Research**. 2017. p.30-39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2017.10.003>

LIMA-MENDEZ, G. et al. Determinants of Community Structure in the Global Plankton Interactome. **Science**, V. 348(7), p. 1–10, 2015.

MARGALEF, R. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. **Oceanologia Acta**, New Jersey, v. 1, n. 4, p. 493-509, 1978.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. SANTOS, J. U. M., GORAYEB, I. D. S., BASTOS, M. D. N. D. C. **Diagnóstico para avaliação e ações Prioritárias para Conservação da Biodiversidade da Zona Costeira e Marinha amazônica**. Belém, Pará, Brasil Outubro, 1999.

MUEHE, D.; SEQUEIRA, D. G. A. Mercator - **Revista de Geografia da UFC**, vol. 4, núm. 8, julho-diciembre, 2005, pp. 69-88, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.

NEUMANN-LEITÃO, S., MELO PAMC, SCHWAMBORN R, DIAZ XFG, FIGUEIREDO LGP, SILVA AP, CAMPELO RPS, MELO JÚNIOR M, MELO NFAC, COSTA AESF, ARAÚJO M, VELEDA DRA, MOURA RL AND THOMPSON, F (2018) Zooplankton From a Reef System Under the Influence of the Amazon River Plume. **Front. Microbiol.** 9:355. doi: 10.3389/fmicb.2018.00355

OTSUKA, A., FEITOSA, F., ARAÚJO, M., VELEDA, D., CUNHA, M. DA G.S., LEFÉVRE, N., GASPAR, F., MONTES, M.F., BORGES, G. AND NORIEGA, C. (2018) Dynamics of Primary Productivity and Oceanographic Parameters under Influence of the Amazon River Plume. **Open Journal of Ecology**, 8, 590-606. <https://doi.org/10.4236/oje.2018.811035>

PALMA, J.J.C. Geomorfologia da Plataforma Continental norte brasileira. In: PETROBRÁS. Projeto REMAC. Geomorfologia da margem Continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes. Rio de Janeiro, 1979. p. 25-51 (Levantamento de Recursos Naturais, 7).

PECK, N.; PETERS, J.; DIEKMANN, R.; AAKMANN, S.; L RENZ, J. 2015. Interactive Effects of Temperature and Salinity on Population Dynamics of the Calanoid Copepod *Acartia tonsa*. **Journal of Plankton Research**, v. 37(1), p. 197–210, 2015.

PIELOU, E. C. Species diversity and pattern diversity in the study of ecological succession. **The Journal of Theoretical Biology**, v. 10, p. 370-383, 1966.

RODRIGUES, S.V.; MARINHO, M.M.; JONCK, C.C.C; GONÇALVES, E.S.; BRANT, V.F.; PARANHOS, R.; CRUBELO, M.P.; FALÇÃO, A.P. Phytoplankton community structures in shelf and oceanic Waters off southeast Brazil (20° - 25°), as determined by pigment signatures. **Deep-Sea Research I**, v. 88, p. 47-62, 2014.

SHANNON, C. E.; WEAVER, W. **The Mathematical Theory of Communication**. University of Illinois Press, Urbana, Illinois, p. 125, 1964.

SIERRA, J.P., SANCHEZ-ARCILLA, A., GONZALEZ DEL RIO, J., FLOS, J., MOVELLAN, E., MOSSO, C., MARTINEZ, R., RODILLA, M., FALCO, S. ROMERO, I. (2002) Spatial Distribution of Nutrients in the Ebro Estuary and Plume. *Continental Shelf Research*, 22, 361-378. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(01\)00061-9](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(01)00061-9)

SILVA, L.M., FEITOSA, F.A. DO N., FLORES MONTES, M. DE J., OTSUKA, A.Y., SALDANHA-CORRÊA, F. AND NORIEGA, C. (2019) Phytoplankton Productivity and Hydrology in an Impacted Estuarine Complex in Northeastern Brazil. **OpenJournal of Ecology** , 9, 458-477. <https://doi.org/10.4236/oje.2019.910030>

SMAYDA, T. J. **Adaptações e seleção de espécies de dinoflagelados nocivos e outros em sistemas de ressurgência. 2. Motilidade e comportamento migratório** Prog. Oceanogr. , 85 (2010) , pp. 7191 , 10.1016 / j.pocean.2010.02.005

SOKAL, R. R.; F. J. Rohlf.. Biometry: the principles and practices of statistics in biological research. **Freeman and Company**. New York, New York. 859 p.1981

Souza Filho P.W.M. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. **Rev Bras Geofísica**.23:427–435.2005 doi: 10.1590/S0102-261X2005000400006

SOUZA W.FL , Medeiros P.RP , Brandin N. , Knoppers B. **Impactos de barragens sobre os fluxos de materiais na interface continente-oceano** Rev. Virtual Química , 3 (2) (2011) , pp. 116-128 , 10.5935 / 1984-6835.20110016

SOUZA, C.S. , Luz J.AG , Macedo S. , Montes M.JF , Mafalda Jr P.O. **Clorofila a e distribuição de nutrientes em torno de montes submarinos e ilhas do Atlântico sudoeste tropical**. Mar. Freshwater Res. , 64 (2013) , págs. 168 - 184 , 10.1071/MF12075

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS. T. R. **A practical handbook of seawater analysis**. Bulletin Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, v. 167, n. 2, p. 1-205. 1972.

TOMCZAK, M., GODFREY, J. S. Regional Oceanography: An Introduction. 2nd ed Delhi, Daya Publishing House. 2003.

VALENTIN, J. L. **Ecologia numérica**. Rio de Janeiro: Interciência, 117 p. 2000.

VILLAFANE, V. E.; REID, F. M. H. Métodos de microscopia para la cuantificación del fitoplancton. In: ALVEAR, K.; FERRARIO, M. E.; OLIVEIRA FILHO, E. C.; SARS, E. (Eds.). **Manual de métodos ficológicos**. Chile: Universidad de Concepción, p. 169-185, 1995.

YANG, D., WANG, F., GAO, Z., CHEN, Y. AND XIE, L. An Approach to the Effect of Physicochemical Factors on Primary Production in the Changjiang Estuary. *Advences Marine Science* , 2006. 24, 97-107

Yeung, L. Y., Berelson, W. M., Young, E. D., Prokopenko, M. G., Rollins, N., Coles, V. J., et al. (2012). Impact of diatom-diazotroph associations on carbon export in the Amazon River plume. **Geophys. Res. Lett.** 39:L18609. doi: 10.1029/2012GL053356.

ZEMBRUSCKI, S.G.; GORINI, M.A.; PALMA, J.J.C.; COSTA, M.P.A. Fisiografia e distribuição dos sedimentos superficiais da Plataforma Continental norte brasileira. Rio de Janeiro. Boletim Técnico da PETROBRÁS, v. 14, n. 3/4, p. 127-155. 1971.

MATERIAL SUPLEMENTAR 1

Tabela 1- Localização dos pontos amostrais ao longo dos três transectos da Plataforma Continental Maranhense.

PONTOS	LAT.	LONG.	Profundidade (m)
COMPLEXO ESTUARINO SÃO JOSÉ (TSJ)			
SJ01	2° 11' 29.46" S	43° 43' 49.81" W	40,08
SJ02	2° 6' 12.02" S	43° 38' 51.17" W	36,86

SJ03	2° 0' 54.24" S	43° 33' 52.22" W	44,38
SJ04	1° 47' 58.94" S	43° 21' 42.79" W	53,02
SJ05	1° 40' 40.61" S	43° 14' 50.50" W	54,39
SJ06	1° 33' 33.47" S	43° 8' 8.576" W	75,13
COMPLEXO ESTUARINO SÃO MARCOS (TSM)			
SM01	2° 30' 20.09" S	44° 25' 0.936" W	31,05
SM02	2° 26' 25.39" S	44° 21' 54.94" W	42,86
SM03	2° 22' 41.78" S	44° 18' 35.94" W	36,14
SM04	2° 19' 1.022" S	44° 15' 13.60" W	36,87
SM05	2° 15' 20.25" S	44° 11' 51.26" W	33,3
SM06	1° 57' 58.30" S	43° 55' 56.29" W	28,08
SM07	1° 41' 22.81" S	43° 40' 43.89" W	38,01
SM08	1° 30' 58.34" S	43° 31' 11.54" W	55,57
SM09	1° 20' 27.59" S	43° 21' 33.45" W	72,27
BAÍA DE CUMÃ (TC)			
C01	1° 55' 53.11" S	44° 19' 22.18" W	25,92
C02	1° 49' 9.126" S	44° 12' 55.72" W	27,24
C03	1° 42' 25.11" S	44° 6' 29.25" W	24,28
C04	1° 35' 41.10" S	44° 0' 2.774" W	25,43
C05	1° 25' 47.84" S	43° 5' 35.27" W	24,80
C06	1° 15' 36.79" S	43° 40' 50.74" W	48,34
C07	1° 5' 24.62" S	43° 31' 5.140" W	61,17

MATERIAL SUPLEMENTAR 2

Tabela 2- Lista de táxons da comunidade fitoplanctônica da Plataforma Continental Maranhense (* presença e – Ausência)

TÁXONS	TSJ		TSM		TC	
	AC	AR	AC	AR	AC	AR
BACILLARIOPHYTA						

<i>Bacillaria paradoxa</i>	Penada	Colonial	*	-	-	-	*
<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	Cêntrica	Colonial	*	-	-	-	-
<i>Bacteriastrum furcatum</i>	Cêntrica	Colonial	-	*	-	-	-
<i>Bellerochea malleus</i>	Cêntrica	Colonial	-	-	-	*	-
<i>Chaetoceros abnormis</i>	Cêntrica	Colonial	-	*	-	*	*
<i>Chaetoceros affinis</i>	Cêntrica	Solitária	*	-	-	-	-
<i>Chaetoceros compressus</i>	Cêntrica	Colonial	-	-	-	*	-
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	Cêntrica	Colonial	*	*	-	*	-
<i>Coscinodiscus centralis</i>	Cêntrica	Solitária	-	-	*	-	-
<i>Chaetoceros didymus</i>	cêntrica	Colonial	*	-	-	-	-
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	cêntrica	Colonial	*	*	-	-	-
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	Cêntrica	Solitária	-	*	-	*	-
<i>Chaetoceros teres</i>	Cêntrica	Colonial	*	*	-	*	-
<i>Chaetoceros socialis</i>	Cêntrica	Colonial	*	-	-	-	-
<i>Chaetoceros</i> sp ₁	Cêntrica	Colonial	*	*	-	-	-
<i>Chaetoceros</i> sp ₂	Cêntrica	Colonial	-	-	-	-	-
<i>Coscinodiscus concinnus</i>	Cêntrica	Solitária	-	-	-	-	*
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	Cêntrica	Solitária	-	-	-	-	*
<i>Coscinodiscus</i> sp.	Cêntrica	Solitária	-	*	-	-	-
<i>Coconeis</i> sp.	Penada	Solitária	-	-	-	-	*
<i>Cyclotella</i> sp.	Cêntrica	Solitária	*	-	-	-	-
<i>Diploneis bombus</i>	Penada	Solitária	-	*	-	-	-
<i>Ditylum brightwellii</i>	Cêntrica	Solitária	-	*	-	*	*
<i>Helicotheca tamesis</i>	cêntrica	Colonial	-	*	-	-	-
<i>Hemiaulus hauckii</i>	cêntrica	Colonial	-	-	-	*	-
<i>Hemiaulus sinensis</i>	penada	Colonial	*	-	-	-	-
<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>	cêntrica	Colonial	-	-	-	-	*
<i>Leptocylindrus minimus</i>	cêntrica	Colonial	-	-	-	*	-
<i>Melosira nummuloides</i>	cêntrica	Colonial	-	*	-	-	-
<i>Neocalyptrella robusta</i>	cêntrica	Solitária	-	*	-	*	-
<i>Nitzschia longissima</i>	penada	Solitária	-	-	-	-	*
<i>Penada</i> sp ₁	penada	Solitária	*	-	-	-	-
<i>Penada</i> sp ₂	penada	Solitária	*	-	-	-	-
<i>Penada</i> sp ₃	penada	Solitária	*	-	-	-	-
<i>Pleurosigma</i> sp.	penada	Solitária	*	-	-	-	-
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	cêntrica	Solitária	-	-	-	*	-
<i>Rhizosolenia setigera</i>	cêntrica	Colonial	-	*	-	*	*
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	cêntrica	Solitária	-	-	-	-	*
<i>Thalassiosira subtilis</i>	cêntrica	Colonial	*	*	-	-	-
<i>Thalassiosira</i> sp ₁	cêntrica	Solitária	*	*	*	*	*
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	penada	Colonial	*	*	-	*	-
<i>Tryblionella compressa</i>	penada	Solitária	*	-	-	-	-
MIOZOA							
<i>Ceratocorys horrida</i>		Solitária	-	-	-	-	-

<i>Prorocentrum micans</i>	Solitária	*	*	*	-	-
<i>Prorocentrum gracile</i>	Solitária	*	*	-	-	-
<i>Prorocentrum compressum</i>	Solitária	-	-	-	-	-
<i>Protoperidinium cf depressum</i>	Solitária	*				
<i>Protoperidinium</i> sp ₁	Solitária	-	-	-	-	-
<i>Protoperidinium</i> sp ₂	Solitária	-	-	-	-	-
<i>Protoperidinium</i> sp ₃	Solitária	*	-	-	-	-
<i>Protoperidinium</i> sp ₄	Solitária	-	-	*	-	-
<i>Pyrophacus steinii</i>	Solitária	*	-	-	-	*
CIANOBACTERIA						
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	Filamentosa	*	*	*	*	*
<i>Komvophororom</i> sp.	Colonial	-	-	-	-	*