



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

**DESCRITORES DA QUALIDADE AMBIENTAL DO SISTEMA ESTUARINO DO
RECIFE (PE): O PAPEL DO FITOPLÂNCTON**

GISLAYNE CRISTINA PALMEIRA BORGES

RECIFE
2016

GISLAYNE CRISTINA PALMEIRA BORGES

**DESCRITORES DA QUALIDADE AMBIENTAL DO SISTEMA ESTUARINO DO
RECIFE (PE): O PAPEL DO FITOPLÂNCTON**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia (PPGO) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Oceanografia Biológica.

Orientadora: Profa. Dra. Maria da Glória Gonçalves da Silva Cunha

Coorientadora: Profa. Dra. Enide Eskinazi Leça

Recife/2016

Gislayne Cristina Palmeira Borges

Tese submetida ao curso de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Doutor.

Aprovada em 16 de Fevereiro de 2016.

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Maria da Glória Gonçalves da Silva Cunha – Departamento de Oceanografia/UFPE

Profa. Dra. Maria Luise Koenig – Departamento de Oceanografia/UFPE

Prof. Dr. Marcos Honorato da Silva – Colégio de Aplicação/UFPE

Prof. Dr. Zanon de Oliveira Passavante – Departamento de Oceanografia/UFPE

Dra. Patricia Campos de Arruda – Departamento de Botânica/UFRPE

Suplentes:

Dra. Nísia Karine Cavalcanti Aragão Tavares – Departamento de Botânica/UFRPE

Dr. Carlos Delgado Noriega – Departamento de Oceanografia/UFPE

Prof. Dr. Fernando do Nascimento Feitosa – Departamento de Oceanografia/UFPE

Aos meus pais, Marinalva e Jeronimo

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Oceanografia em nome de seus chefes Prof. Dr. Alex Costa da Silva, e ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia, na pessoa dos coordenadores Profa. Dra. Tereza Cristina Medeiros de Araújo e Profa. Dra. Monica Ferreira da Costa, por propiciar suporte estrutural e técnico, permitindo a utilização de todas as suas dependências.

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

A minha orientadora Maria da Glória Gonçalves da Silva Cunha pelo incentivo, apoio, amizade e confiança.

A minha co-orientadora Profa. Dra. Enide Eskinazi Leça pelos ensinamentos, amizade e apoio durante a execução do trabalho.

A todos os professores do Departamento de Oceanografia, em especial aos que fazem parte do Laboratório de Fitoplâncton (Dra. Maria da Glória Gonçalves da Silva Cunha, Dra. Maria Luise Koenig, Dr. Fernando Antonio do Nascimento Feitosa e Dr. José Zanon de Oliveira Passavante) pelos momentos de convivência, conhecimento e amizade.

Aos funcionários do DOCEAN sempre dispostos a ajudar, em especial a Mirna pela disponibilidade e atenção e à Dona Edileuza, pela sua simpatia, atenção e cuidado com todos os alunos.

Aos meus amigos do Laboratório de Fitoplâncton, Eveline, Leandro, Marcos, Marilene, Christiana, Nayana, Marcella e Germano pela amizade, aprendizado e momentos de diversão. Principalmente a Eveline, Nayana e Marcella pelo apoio durante a execução deste trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Química do Departamento de Oceanografia, Antonio e Elisa pelo suporte durante o período de coletas e análises das amostras dos parâmetros abióticos.

Ao Dr. Carlos Noriega pela disponibilidade do mapa utilizado em dois capítulos desta pesquisa.

Em especial a Jucicleide, Marilene e Zinaldo pelo apoio durante as coletas.

As minhas amigas Ana Carolina, Andréa, Karla e Mariana, pela amizade sincera, carinho e apoio.

A minha família pelo amor incondicional e apoio nessa jornada que está apenas começando.

A Deus por iluminar a minha vida e pela oportunidade de aprender a cada dia

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo caracterizar os descritores do fitoplâncton no Sistema Estuarino do Recife (PE) e determinar os fatores que contribuem para as flutuações sazonais e espaciais dos grupos funcionais. As amostragens foram feitas em três pontos fixos (P1, Baía Portuária; P2, estuário do rio Beberibe; P3, estuário do rio Capibaribe) nos períodos chuvoso e de estiagem de 2010, 2011 e 2012, durante as baixas-mares e preamares. A temperatura, transparência da água e profundidade foram medidos *in situ*, enquanto a salinidade, potencial hidrogeniônico (pH), material particulado em suspensão (MPS), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica do oxigênio (DBO₅) e sais nutrientes foram coletados com garrafa Kitahara e analisados no Laboratório de Oceanografia Química da Universidade Federal de Pernambuco. Para coleta do plâncton, foram utilizados dois tipos de amostradores (rede de plâncton com 45 e 64 µm de abertura de malha e garrafa Kitahara). As amostras para o estudo qualitativo foram fixadas com formol a 4%, enquanto para o estudo quantitativo foram fixadas com lugol a 2% e posteriormente analisadas no Laboratório de Fitoplâncton da UFPE. A partir destas amostras foram determinados a riqueza específica, clorofila *a*, biovolume celular, biomassa em carbono, densidade fitoplanctônica e os grupos funcionais foram determinados. A temperatura, salinidade, OD e fosfato apresentaram variação sazonal significativa. A variação sazonal indicou que a profundidade, MPS e os nutrientes foram elevados no período chuvoso enquanto transparência, temperatura, salinidade, OD e pH no período de estiagem. A clorofila *a* variou de 2,4 a 60,77 mg.m⁻³. Foram identificados 226 táxons fitoplanctônicos, tendo sido o período chuvoso quantitativamente e qualitativamente mais rico em decorrência da variabilidade hidroclimática. A densidade celular oscilou entre 46.667 e 723.333 cél.L⁻¹, com maiores valores no período chuvoso. Os táxons descritores foram *Planktothrix agardhii*, *Planktothrix isothrix*, *Bellerochea malleus*, *Cyclotella* sp., *Cylindrotheca closterium*, *Coscinodiscus* sp. e *Nitzschia longissima*. O biovolume celular variou sazonalmente de 0,2 a 213,9 mm³ L⁻¹, enquanto a biomassa em carbono de 0,07 a 93,62 pgC L⁻¹. Os principais produtores nos estuários estudados foram *Planktothrix isothrix*, *Oscillatoria* sp. (período chuvoso) e *Coscinodiscus* sp. (período de estiagem). Foram registrados 17 grupos funcionais (A, C, D, P, MP, I, II, III, VI, J, T_D, H₁, L_O, S_N, S₁, S₂, F), dos quais, H₁, S₂, C e III caracterizaram o período chuvoso, enquanto I, II e F caracterizaram o período de estiagem, com o predomínio dos relacionados a ambientes eutróficos, rasos e de águas turvas. Os grupos H₁ e I (P1), S₂, II e III (P2) e C (P3) foram exclusivos para cada estuário. A precipitação pluviométrica e as marés influenciaram a abundância e a distribuição destes grupos e condicionaram as maiores densidades algais registradas. A utilização dos

grupos funcionais, do biovolume e da biomassa em carbono demonstrou que são ferramentas válidas e eficientes para serem utilizadas em estuários tropicais. Com base na distribuição sazonal do fitoplâncton no presente estudo, sugere-se o monitoramento periódico do Sistema Estuarino do Recife, para constatar o efeito das variáveis ambientais sobre o fitoplâncton em longo prazo, bem como para o conhecimento da dinâmica das cianobactérias *Planktotrix agardhii* e *Planktothrix isothrix*, devido ao potencial tóxico dessas espécies.

Palavras-chave: Biomassa em carbono. Biovolume. Cianobactérias. Diatomáceas. Fitoplâncton. Grupos funcionais.

ABSTRACT

This study aimed to characterize phytoplankton descriptors in the Estuarine System of Recife (PE) and determine the factors that contribute to seasonal and spatial fluctuations of the functional groups. Samples were collected in three fixed points (P1, Port Basin; P2, Beberibe River estuary; P3, Capibaribe River estuary) in rainy and dry seasons 2010, 2011 and 2012, during the low and high tide. Temperature, water transparency and depth were measured *in situ*, while salinity, hydrogenionic potential (pH), suspended particulate matter (SMP), dissolved oxygen (DO), biochemical oxygen dissolved (BOD₅) and nutrients were collected with a Kitahara bottle and analyzed at the Chemical Oceanography Laboratory of Universidade Federal de Pernambuco. To collect the plankton, two types of samplers were used (plankton net with 45 and 64 µm of mesh opening and Kitahara bottle). Samples for the qualitative study were fixed with 4% formaldehyde, while for the quantitative study were fixed with 2% lugol and posteriorly analyzed at the Phytoplankton Laboratory of UFPE. From these samples were determined the species richness, chlorophyll *a*, cell biovolume, carbon biomass, phytoplankton density and the functional groups were determined. The temperature, salinity, DO and phosphate showed significant seasonal variation. The seasonal variation indicated that the depth, SPM and nutrients were high in the rainy season and transparency, temperature, salinity, DO and pH in the dry season. The chlorophyll *a* varied between 2.4 to 60.77 mg.m⁻³. 226 phytoplankton taxa were identified, being the rainy season qualitatively and quantitatively richer as result of the hydroclimatic variability. The cell density varied between 46.667 and 723.333 cells.L⁻¹, with highest values in rainy season. The descriptors taxa were *Planktothrix agardhii*, *Planktothrix isothrix*, *Bellerochea malleus*, *Cyclotella* sp., *Cylindrotheca closterium*, *Coscinodiscus* sp. and *Nitzschia longissima*. The cell biovolume ranged from 0.2 to 213.9 mm³ L⁻¹, while the carbon biomass from 0.07 to 93.62 pgC L⁻¹. The main producers in the studied estuaries were *Planktothrix isothrix*, *Oscillatoria* sp. (rainy season) and *Coscinodiscus* sp. (dry season). 17 functional groups were recorded (A, C, D, P, MP, I, II, III, VI, J, TD, H₁, L₀, S_N, S₁, S₂, F), of which, H₁, S₂, C and III characterized the rainy season, while I, II and F characterized the dry season, with the predominance of related to eutrophic, shallow and muddy water environments. The groups H₁ and I (P1), S₂, II and III (P2) and C (P3) were unique to each estuary. The rainfall and the tides influenced the abundance and distribution of these groups, hindered the establishment of blooms and conditioned the largest algal densities recorded. The use of functional associations, biovolume and biomass carbon showed that they are valid and efficient tools for use in tropical estuaries.

Based on the seasonal distribution of phytoplankton in the present study, it is suggested the periodic monitoring of the Estuarine System of Recife to observe the effect of environmental variables on phytoplankton long-term, as well as for understanding the dynamics of cyanobacteria *Planktotrix agardhii* and *Planktothrix isothrix* due to the toxic potential of these species.

Keywords: Carbon biomass. Biovolume. Cyanobacteria. Diatoms. Phytoplankton. Functional groups.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1: Comunidade microfitoplanctônica e variáveis ambientais em um estuário eutrófico urbano (rio Capibaribe, Nordeste do Brasil)	Página
Figura 1 - Área estuarina do rio Capibaribe (Pernambuco, Nordeste do Brasil), onde estão localizadas as estações de amostragem S1, S2 e S3	35
Figura 2 - Variáveis ambientais estudadas ao longo das estações de coletas S1, S2 e S3 do estuário do rio Capibaribe, durante as diferentes marés (low and high) e períodos climáticos (dry and rainy). Sampling station=estações; Climate period=período climático; Tidal period=período de maré; S1=estação 1; S2=estação 2; S3=estação 3; Dry=período de estiagem; Rainy=período chuvoso; Low=baixa-mar; High=preamar; Depth=profundidade; Water clarity=transparência da água; Superficial temperature=temperatura superficial; Superficial salinity=salinidade superficial; Biomass=biomassa (clorofila <i>a</i>)	40
Figura 3 - Abundância relativa (%) da cianobactéria <i>Planktothrix agardhii</i> (G.) Anagnostidis & Komárek e da diatomácea <i>Cyclotella</i> sp. durante os períodos de estiagem e chuvoso, bem como nos dois períodos de marés (baixa-mar e preamar) e nas diferentes estações (S1, S2 e S3) ao longo da porção estudada do estuário do rio Capibaribe. Sampling station=estações; Climate period=período climático; Tidal period=período de maré; S1=estação 1; S2=estação 2; S3=estação 3; Dry=período de estiagem; Rainy=período chuvoso; Low=baixa-mar; High=preamar; Aundance=Abundância relativa	41
Figura 4 - Ordenação da ACC entre as espécies e as variáveis ambientais no estuário do rio Capibaribe. Legendas: Agranu= <i>Aulacoseira granulata</i> ; Centrale= Centrales; Cyclosp= <i>Cyclotella</i> sp.; Cclost= <i>Cylindrotheca closterium</i> ; Cglom= <i>Cyclotella glomerata</i> ; Hthames= <i>Helicotheca tamesis</i> ; Oscil2= <i>Oscillatoria</i> sp2; Pagar= <i>Planktothrix agardhii</i> ; Scost= <i>Skeletonema costatum</i> . Temp= temperatura superficial; Salin= salinidade superficial; Transp= transparência da água; Tide= maré; Depth= profundidade; Rain= precipitação pluviométrica; Biomass= biomassa (clorofila <i>a</i>)	43
Capítulo 2: Descritores ambientais da comunidade fitoplanctônica e os parâmetros abióticos no estuário do rio Beberibe (Brasil)	Página
Figura 1 - Localização do ponto de coleta (P1) no estuário do rio Beberibe (Brasil)	51
Figura 2 - Desenho esquemático dos períodos sazonais de amostragem do fitoplâncton e variáveis abióticas no estuário do rio Beberibe (Brasil)	52
Figura 3 - Variação da biomassa fitoplanctônica (clorofila <i>a</i>) (A) antes da dragagem (2011), (B) durante e depois da dragagem (2012) no estuário do rio Beberibe (Brasil). Legenda: BM=baixa-mar; PM=preamar	55
Figura 4 - Contribuição dos filos do fitoplâncton (A e B) antes da dragagem (2011), (C) durante a dragagem (2012) e (D) depois da dragagem (2012) no estuário do rio Beberibe (Brasil)	58
Figura 5 - Variação da diversidade específica (bits.cél ⁻¹) e equitabilidade antes (2011), durante (2012) e depois (2012) da dragagem no estuário do rio Beberibe (Brasil)	58
Figura 6 - Análise de Correspondência Canônica (ACC) das variáveis	59

abióticas e espécies de maior contribuição para comunidade do estuário do rio Beberibe (Brasil) no ano de 2011 (antes da dragagem). Siglas: Temp (temperatura da água), Transp (transparência da água), Sal (salinidade), OD (oxigênio dissolvido), DBO₅ (Demanda Bioquímica do Oxigênio), Belmall (*Bellerochea malleus*), Planaga (*Planktothrix agardhii*), Protsp (*Protoperidinium* sp.), Nitzlon (*Nitzschia longissima*) e Peddup (*Pediastrum duplex*)

Figura 7 - Análise de Correspondência Canônica (ACC) das variáveis abióticas e espécies de maior contribuição para comunidade do estuário do rio Beberibe em 2012 (depois da dragagem). Siglas: Temp (temperatura da água), Transp (transparência da água), Sal (salinidade), OD (oxigênio dissolvido), DBO₅ (Demanda Bioquímica do Oxigênio), Belmall (*Bellerochea malleus*), Planaga (*Planktothrix agardhii*) e Protsp (*Protoperidinium* sp.), Nitzlon (*Nitzschia longissima*), Peddup (*Pediastrum duplex*)

Capítulo 3: Composição do fitoplâncton em estuários tropicais impactados de Pernambuco, Brasil

Figura 1 - Localização dos pontos de coleta nos estuários urbanos de Pernambuco (Nordeste do Brasil). Nota: St.P1=bacia portuária do Recife; ST.P2=estuário do rio Beberibe; St.P3=estuário do rio Capibaribe

Figura 2 - Variação na densidade celular durante o período chuvoso e período de estiagem nos estuários urbanos de Pernambuco (Nordeste do Brasil). LT= baixa-mar, HT= preamar, June=Junho, July=Julho, August=Agosto, October=Outubro, November=Novembro, December=Dezembro, cells.L⁻¹=Cél.L⁻¹

Figura 3 - Mapa da Análise de Correspondência Canônica das espécies do fitoplâncton, parâmetros abióticos, meses (a) e pontos de coleta (b). PO₄ = fosfato, SiO₂ = silicato, NO₃ = nitrato e NH₃ = amônia

Capítulo 4: Dinâmica das associações fitoplanctônicas em estuários tropicais (Nordeste, Brasil)

Figura 1 - Localização dos pontos de coleta em estuários urbanos de Pernambuco (Nordeste do Brasil). St.P1=ponto 1; St.P2=ponto 2; St.P3=ponto 3

Figura 2 - Contribuição dos grupos funcionais do fitoplâncton e dos parâmetros abióticos aos dois primeiros componentes principais, no Sistema Estuarino do Recife (PE, Brasil). Nota: pH=potencial hidrogeniônico; OD=oxigênio dissolvido; Transp=transparência da água; Sal=salinidade; Temp=temperatura da água; NO₃=nitrato; SiO₂=silicato; MPS=materiais particulados em suspensão; NH₃=amônia; PO₄=fosfato.)

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1: Comunidade microfitoplanctônica e variáveis ambientais em um estuário eutrófico urbano (rio Capibaribe, Nordeste do Brasil)	Página
Tabela 1 - Resumo estatístico e coeficiente de correlação entre as espécies fitoplanctônicas e as variáveis ambientais dos dois primeiros eixos da ACC	43
Capítulo 2: Descritores ambientais da comunidade fitoplanctônica e os parâmetros abióticos no estuário do rio Beberibe (Brasil)	Página
Tabela 1 - Valores de temperatura da água (Temp.;°C), transparência da água (Transp.;m), salinidade, oxigênio dissolvido (OD;mg.L ⁻¹) e demanda bioquímica do oxigênio (DBO ₅ ;mg.mL ⁻¹) em 2011 (antes da dragagem) e 2012 (durante e depois da dragagem) no estuário do Beberibe (Brasil). Legenda: PC=período chuvoso; PE=período de estiagem	55
Tabela 2 – Variação da riqueza de espécies e da clorofila <i>a</i> em 2011 (antes da dragagem) e 2012 (durante e depois da dragagem) no estuário do Beberibe (Brasil)	56
Tabela 3 - Espécies Muito Frequentes identificadas em 2011 (antes da dragagem) e em 2012 (durante e depois da dragagem) no estuário do rio Beberibe (Brasil)	57
Tabela 4 - Contribuição das variáveis abióticas e bióticas aos dois primeiros componentes principais (com seus percentuais de explicabilidade) obtidas no estuário do rio Beberibe (Brasil), antes da dragagem (2011)	60
Tabela 5 - Contribuição das variáveis abióticas e bióticas aos dois primeiros componentes principais (com seus percentuais de explicabilidade) obtidas no estuário do rio Beberibe (Brasil), depois da dragagem (2012)	60
Capítulo 3: Composição do fitoplâncton em estuários tropicais impactados de Pernambuco, Brasil	Página
Tabela 1 - Variação sazonal e espacial dos parâmetros abióticos nos estuários urbanos de Pernambuco (Nordeste do Brasil). Nota: PC=período chuvoso; PE=período de estiagem	70
Tabela 2 - Variação do biovolume (mm ³ .L ⁻¹) e biomassa em carbono (pgC.L ⁻¹) das espécies descritoras do fitoplâncton em estuários urbanos de Pernambuco (Nordeste do Brasil)	73
Tabela 3 - Coordenadas dos parâmetros e espécies dentro da análise espacial e sazonal da Análise de Correspondência Canônica. Os valores significantes dos parâmetros estão em negrito. PO ₄ = fosfato, SiO ₂ = silicato, NO ₃ = nitrato e NH ₃ = amônia	75
Capítulo 4: Dinâmica das associações fitoplanctônicas em estuários tropicais (Nordeste, Brasil)	Página
Tabela 1 - Variação sazonal dos parâmetros abióticos durante o período chuvoso e de estiagem nos estuários estudados. Legenda: T=Temperatura da água; Sal.=Salinidade; OD=Oxigênio dissolvido; TA= Transparência da água; MPS= Material Particulado em Suspensão; NH ₃ = Amônia; NO ₃ = Nitrato; PO ₄ = Fosfato; SiO ₂ = Silicato; KW= Kruskall-Wallis; MW=Mann-Whitney; ND= não detectável	86

Tabela 2 - Distribuição sazonal e espacial das associações fitoplanctônicas e densidades encontradas nos estuários da Bacia Portuária, Beberibe e Capibaribe (Nordeste do Brasil), durante o período estudado. (*=táxons encontrados somente nas análises qualitativas). P1=bacia Portuária; P2=estuário do rio Beberibe; P3=estuário do rio Capibaribe; PC= período chuvoso; PE=período de estiagem	87
Tabela 3 - Grupos funcionais do fitoplâncton identificados nos estuários tropicais (Nordeste do Brasil). Nota: ... (sem indicação na literatura)	89

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	19
2.1	Objetivo geral	19
2.2	Objetivos específicos	19
3	SÍNTESE DO ESTADO DA ARTE DO FITOPLÂNCTON NO NORDESTE DO BRASIL	20
4	ESTRUTURA DA TESE	31
	CAPÍTULO 1	32
	Comunidade microfitoplanctônica e variáveis ambientais em um estuário eutrófico urbano (rio Capibaribe, Nordeste do Brasil)	32
	Abstract	33
	Resumo	33
1	Introdução	34
2	Material e métodos	35
2.1	Coleta e análise dos dados	36
2.2	Variáveis ambientais	36
2.3	Composição das espécies	37
3	Resultados	38
3.1	Variáveis ambientais	38
3.1.1	Períodos climáticos e período entre marés	38
3.1.2	Mudanças espaciais	38
3.2	Composição florística	39
3.2.1	Períodos climáticos	39
3.2.2	Diferenças entre marés	41
3.2.3	Mudanças espaciais	42
3.3	Interação entre espécies e variáveis ambientais	42
4	Discussão	43
4.1	Variáveis ambientais	43
4.2	Composição das espécies	44
	CAPÍTULO 2	48
	Descritores ambientais da comunidade fitoplanctônica e os parâmetros abióticos no estuário do rio Beberibe (Brasil)	48
	Abstract	49
	Resumo	49
1	Introdução	50
2	Área estudada	51
3	Material e métodos	52
3.1	Variáveis abióticas	52
3.2	Fitoplâncton	53
3.3	Análise estatística	54
4	Resultados	54
4.1	Mudanças induzidas nas condições ambientais	54
4.2	Variação da biomassa fitoplanctônica (clorofila <i>a</i>)	55
4.3	Alterações na abundância e composição do fitoplâncton	56
5	Discussão	61
6	Conclusão	63
	CAPÍTULO 3	64
	Composição do fitoplâncton em estuários tropicais impactados de	64

	Pernambuco, Brasil	
	Abstract	65
	Resumo	65
1	Introdução	66
2	Material e métodos	67
2.1	Área de estudo	67
2.2	Composição da comunidade fitoplanctônica	67
2.3	Parâmetros abióticos	69
2.4	Análise estatística	69
3	Resultados	69
3.1	Parâmetros abióticos	69
3.2	Composição da comunidade fitoplanctônica	70
4	Discussão	75
	CAPÍTULO 4	78
	Dinâmica das associações fitoplanctônicas em estuários tropicais (Nordeste, Brasil)	78
	Abstract	79
	Resumo	79
1	Introdução	79
2	Material e métodos	81
2.1	Área de estudo	81
2.2	Coleta e análise das amostras	82
3	Resultados	84
3.1	Parâmetros abióticos	84
3.2	Comunidade fitoplanctônica	86
4	Discussão	91
5	Conclusão	94
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
	REFERÊNCIAS	98

1 INTRODUÇÃO

Os ecossistemas estuarinos são zonas de transição, caracterizados por gradientes nas variáveis abióticas como salinidade e nutrientes, promovendo alterações na composição e diversidade das comunidades biológicas. Por causa dessa heterogeneidade ambiental, apresentam condições favoráveis para a manutenção da diversidade do fitoplâncton (MUYLAERT et al., 2009; QIU et al., 2010).

Devido à importância e a dinâmica dos estuários, há uma necessidade de desenvolver indicadores sensíveis e que possuam uma aplicação geral para detectar as modificações ocorridas na qualidade da água. A frequência e a intensidade dessas mudanças podem afetar os aspectos quali-quantitativos da biota, selecionando as espécies através de competição e favorecendo aquelas que possuem estratégias adaptativas (GEMELGO et al., 2009).

Nesses ecossistemas de transição, o fitoplâncton desempenha um papel importante no ciclo do carbono, dos nutrientes e do oxigênio, pois apresentam um tempo de crescimento curto e uma rápida resposta às perturbações ambientais, antrópicas ou naturais, sendo considerado um indicador sensível para a detecção de mudanças ecológicas nos estuários (PAERL et al., 2010).

Diversos fatores bióticos e abióticos influenciam ou causam modificações na composição das espécies do fitoplâncton, como mistura da água, luminosidade, temperatura, sais nutrientes, substâncias tóxicas, microrganismos heterotróficos, agentes patogênicos, parasitas e herbivoria (BROGUEIRA et al., 2007).

Além desses fatores, as características geomorfológicas (KOENING et al., 2002; SILVA et al., 2011), os impactos antrópicos (GUENTHER et al., 2015) e as variações nas condições climáticas (LEHMAN, 2000a) também contribuem para as características taxonômicas e a dinâmica espacial-temporal das comunidades (BRANDINI et al., 1997), afetando o fitoplâncton tanto na ecologia como nas células individuais (DAY JR et al., 1989).

A variação espacial-temporal do fitoplâncton associada aos fatores ambientais são bastante estudados em áreas estuarinas. A comunidade fitoplanctônica é complexa e caracterizada por uma alta diversidade de espécies e rápidas sucessões na composição em resposta a mudanças ambientais. Esta variação na estrutura da comunidade desempenha um importante papel nos ecossistemas aquáticos (PINCKNEY et al., 1998).

Estudos quantitativos e qualitativos do fitoplâncton são necessários para compreender os padrões de variação temporal em relação aos fatores ambientais. Estas pesquisas são

importantes pois documentam essa variabilidade e são utilizadas também para entender como os impactos antrópicos interagem com essas variações naturais (GAYOSO, 1999).

Uma das ferramentas utilizadas para estudar a variação espacial-temporal, a fisiologia, a dinâmica da comunidade, os ciclos de vida e os fluxos de energia em estuários é o biovolume e a biomassa em carbono. De acordo com Vadrucchi et al. (2007) e Reavie et al. (2010), as medições do biovolume são indicadores úteis de estressores de origem antrópica, como excesso de fósforo ou eutrofização cultural.

Esses descritores morfométricos possuem um série de vantagens em relação aos descritores taxonômicos padrão, como a facilidade em medir a célula e comparar o tamanho entre os diferentes ecossistemas aquáticos (VADRUCCHI et al., 2007).

A metodologia mais utilizada para o biovolume é a que faz a associação das espécies do fitoplâncton com as formas geométricas tridimensionais, através da medição direta em microscópio (HILLEBRAND et al., 1999; SUN e LIU, 2003; VADRUCCHI et al., 2007). Além desse método, o biovolume pode ainda ser estimado através de partículas eletrônicas de contagem, citometria de fluxo e imagem de microscopia automática (VADRUCCHI et al., 2007).

Através do biovolume, pode-se ainda obter a biomassa fitoplanctônica em termos de carbono, fornecendo uma avaliação mais precisa desse parâmetro, pois engloba organismos de diferentes formas e tamanhos (TORGAN et al., 1998; HILLEBRAND et al., 1999). Com a utilização da biomassa em carbono é possível comparar a comunidade fitoplanctônica de diferentes ambientes e avaliar as relações entre os níveis tróficos da teia alimentar (JAKOBSEN et al., 2015).

Estudos sobre o biovolume e biomassa em carbono são bem documentados como os trabalhos de Lee e Fuhrman (1987), Verity et al. (1992), Montagne et al. (1994), Menden-Deuer e Lessard (2000), Felip e Catalan (2000), Lehman (2000b), Quinlan e Philips (2007), Gallegos et al. (2010) e Ochoa et al. (2010).

No Brasil foram realizados os trabalhos de Bergesch e Odebrecht (1995), Bergesch e Odebrecht (1997) e Torgan et al. (1998) todos realizados no estuário da Lagoa dos Patos (Rio Grande do Sul) e por Costa et al. (2009) no estuário do rio Paraíba do Sul (Rio de Janeiro). Além destes incluem-se os trabalhos de Eskinazi-Leça et al. (1996) no Canal de Santa Cruz (Itamaracá) e os dados não publicados de Marins (2007) sobre as variações morfométricas da espécie *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve em águas estuarinas da região metropolitana do Recife e Ribeiro de Queiroz et al. (2014) no Arquipélago de São Pedro e São Paulo.

Para melhor compreender a estrutura e a flutuação da comunidade fitoplanctônica aliada com a metodologia do biovolume, estão os estudos sobre os grupos funcionais que são agrupamentos ou associações de espécies que se baseiam em atributos fisiológicos, morfológicos e ecológicos, e que possuem características adaptativas para a sobrevivência e dominância em diferentes ambientes aquáticos (REYNOLDS, 1997; KRUK et al., 2002; REYNOLDS et al., 2002).

A metodologia dos grupos funcionais é utilizada para detectar os padrões na distribuição e dinâmica das populações fitoplanctônicas e associá-los às modificações causadas pela ação antrópica nos ecossistemas (MOURA et al., 2007).

Diversos estudos sobre os grupos funcionais têm sido desenvolvidos em reservatórios, lagos e lagoas costeiras de regiões subtropicais (KRUK et al., 2002; PADISÁK et al., 2003; BONILLA et al., 2005) e tropicais (HUSZAR et al., 2000; MARINHO e HUSZAR, 2002; NABOUT et al., 2005; ALVES-DE-SOUZA et al., 2008). Em estuários, foram desenvolvidos os trabalhos de Costa et al. (2009), Smayda e Reynolds (2003) e Anderson e Rengefors (2006).

De acordo com Smayda e Reynolds (2001), de maneira geral, aceita-se que as espécies marinhas e costeiras utilizem as mesmas estratégias adaptativas das espécies de água doce. Portanto, a metodologia dos grupos funcionais pode ser aplicada com sucesso em ambientes marinhos e estuarinos com o intuito de fornecer importantes informações sobre as espécies que compõem o fitoplâncton em estuários tropicais (COSTA et al., 2009).

A estrutura e composição do fitoplâncton, o biovolume e os grupos funcionais são ferramentas importantes que são utilizadas para melhor compreender esses organismos e seu funcionamento dentro do ecossistema estuarino, além de serem indicadores eficientes de alterações naturais ou antrópicas. Um estudo envolvendo esses parâmetros é necessário para contribuir com novas informações sobre a comunidade fitoplanctônica em estuários do Nordeste do Brasil.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Caracterizar os descritores do fitoplâncton no Sistema Estuarino do Recife (Bacia Portuária e estuários dos rios Beberibe e Capibaribe) e determinar os fatores que contribuem para as flutuações sazonais e espaciais dos grupos funcionais.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a composição específica do fitoplâncton em um gradiente temporal, espacial, entre marés;
- Determinar a densidade total (cel.L^{-1}) dos organismos fitoplanctônicos;
- Determinar a biomassa fitoplanctônica através da biomassa em carbono e clorofila *a*;
- Conhecer as espécies de algas descritoras do fitoplâncton;
- Relacionar as espécies da comunidade fitoplanctônica com as variáveis ambientais;
- Avaliar a qualidade ambiental do estuário através da identificação dos grupos funcionais do fitoplâncton.

3 SÍNTESE DO ESTADO DA ARTE DO FITOPLÂNCTON NO NORDESTE DO BRASIL

Este levantamento sobre a comunidade fitoplanctônica, incluindo a composição, densidade celular, biomassa (clorofila *a*), produtividade primária, biovolume, biomassa em carbono e grupos funcionais abrangeu os anos entre 1960 e 2015. Foram selecionadas publicações de acordo com a abrangência de dados, de forma que fosse contemplado todo o ambiente marinho, englobando as áreas oceânicas, neríticas (plataforma continental) e costeiras (praias, lagoas e estuários), além de reservatórios, açudes e lagos do Nordeste do Brasil. Foram consultados capítulos de livros, artigos científicos, dissertações e teses, além de anais de congressos, resultando em um total de 124 textos.

O litoral do Nordeste brasileiro apresenta uma área de aproximadamente 3000 km de extensão e destaca-se pela existência de grupos tradicionais no estudo do fitoplâncton, principalmente, no estado de Pernambuco, pioneiro no Nordeste em levantamentos florísticos. Nos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Bahia as pesquisas estão direcionadas, principalmente, a levantamentos sobre a composição da comunidade fitoplanctônica.

No Maranhão, além de levantamentos florísticos (ESKINAZI-LEÇA et al., 1985; LAVOR-FERNANDES, 1987, 1988 e 1990; OLIVEIRA et al., 1986; FERREIRA-CORREIA et al., 2004; AZEVEDO-CUTRIM, 2008; e GAMA et al., 2011), estudos quantitativos foram realizados por Rodrigues e Cutrim (2010) em áreas costeiras (São José do Ribamar), os quais confirmaram variações das densidades entre 11 e 176 Cel.mL⁻¹ e variações na clorofila *a* entre 2,4 e 16,56 mg.m⁻³, com a fração do pico/nanofitoplâncton representando mais de 60% da biomassa total.

Destaca-se o primeiro registro de 24 espécies de diatomáceas (*Asterionella japonica*, *Bellerochea horologicalis*, *Chaetoceros cinctus*, *C. furcellatus*, *C. janischianus*, *C. perpusillus*, *C. seiracanthus*, *C. socialis*, *C. tetrastichon*, *Lampriscus orbiculatum*, *Lauderia borealis*, *Navicula delicatula*, *N. granii*, *Nitzschia acicularioides*, *N. linearis*, *N. seriata*, *Pleurosigma directum*, *Pseudonitzschia seriata*, *Rhizosolenia hebetata* f. *semispina*, *R. shrubsolei*, *Synedra ovalis*, *S. nitzschiioides*, *S. undulata* e *Trigonium formosum*), oito de clorofíceas (*Desmidium longatum*, *Docidium undulatum*, *Micrasterias alata*, *M. denticulata*, *M. foliacea*, *Radiofilum conjunctivum*, *Spondylosium pulchrum* e *Ulothrix zonata*), três de dinoflagelados (*Ceratium falcatum*, *C. gallicum* e *C. longiricus*) e quatro de cianobactérias (*Leptolyngbya foveolarum*, *L. tenuis*, *Phormidium autumnale* e *P. limosum*) para o Maranhão (GAMA et al., 2011).

No Piauí ocorre uma escassez de trabalhos relacionados ao fitoplâncton, onde há apenas o registro de uma espécie em um levantamento realizado por Moreira-Filho et al. (1999).

No Ceará as pesquisas sobre o fitoplâncton começaram com os trabalhos de Klein (1977) na plataforma continental, onde foram identificados 23 gêneros de diatomáceas e quatro gêneros de dinoflagelados. Klein e Moreira (1977) estudando a praia de Paracuru registraram 30 gêneros durante o período chuvoso e 35 durante o período de estiagem distribuídos nas classes Bacillariophyceae, Dinophyceae, Cyanophyceae e Chlorophyceae. Destacaram-se os gêneros *Coscinodiscus* (período chuvoso) e *Fragilaria* (período de estiagem) com 4.352 Cél.m³ e 191.674 Cél.m³, respectivamente.

Passavante et al. (1982) e Tahim et al. (1991) prosseguiram com os levantamentos, com abordagens sobre a ocorrência dos dinoflagelados e de diatomáceas causadoras de florescimentos. Os primeiros autores fizeram o registro das espécies *Ceratium tripos* var. *poncticum* e *Ceratium vultur* f. *sumatranum* citadas pela primeira vez para o Brasil. Tahim et al. (1991) registraram um florescimento (19.320.000 Cél.L⁻¹), com a ocorrência principalmente de *Asterionellopsis glacialis* e *Eunotograma* sp. Os autores observaram uma sucessão de espécies, onde *A. glacialis* predominou nos primeiros dias do florescimento e *Eunotograma* sp. nas duas semanas posteriores.

No Rio Grande do Norte, demais pesquisas florísticas e ecológicas foram publicadas (OLIVEIRA e LIMA, 1991; CHELLAPA et al., 2005; e SANTIAGO, 2004). Na região de Maxaranguape, Oliveira e Lima (1991) verificaram o predomínio das diatomáceas, com destaque para as espécies *Chaetoceros convolutus*, *C. lorenzianus*, *Hemidiscus* sp., *Rhizosolenia alata*, *R. calcar-avis*, *R. imbricata* var. *shrubsolei* e *Thalassionema nitzschioides*, além disso, ocorreu também a dominância da cianobactéria *Oscillatoria erythraeum*.

No estuário do rio Potengi, Chellapa et al. (2005) observaram uma redução no número de indivíduos de 68 para 30 espécies e a formação de florescimentos de *Nodularia* sp. e *Trichodesmium erythraeum* que favoreceram a redução da diversidade específica na área.

No estuário do rio Pisa Sal, Santiago (2004) registrou como mais representativas em abundância as espécies *Asterionellopsis glacialis*, *Chaetoceros danicus*, *Thalassionema nitzschioides* e *Thalassiosira subtilis*, e em termos de frequência de ocorrência as espécies *Bacillaria paxillifera*, *Chaetoceros* sp., *Fragilaria capucina*, *Gyrosigma* sp., *Nitzschia* sp., *Paralia sulcata*, *Pleurosigma* sp., *Pseudonitzschia pungens*, *Rhizosolenia setigera* e *Thalassionema frauenfeldii*.

Outra área estudada é o Arquipélago de São Pedro e São Paulo, que inclui pesquisas sobre composição florística, densidade, biovolume celular e biomassa em carbono do fitoplâncton (KOENING e OLIVEIRA, 2009; TIBÚRCIO et al., 2011; e RIBEIRO DE QUEIROZ et al., 2014). A espécie dominante foi a cianobactéria *Trichodesmium thiebautii* e nos dois primeiros trabalhos foram registradas a presença de espécies indicadoras de águas da Corrente do Brasil como *Ceratium candelabrum* var. *candelabrum*, *C. contortum* var. *contortum*, *C. declinatum*, *C. declinatum* var. *declinatum*, *C. extensum*, *C. geniculatum*, *C. gibberum*, *C. hexacanthum*, *C. horridum* var. *molle*, *C. longirostrum*, *C. lunula*, *C. massiliense* var. *massiliense*, *C. paradoxides*, *C. pentagonum* var. *tenerum*, *C. strictum*, *C. symmetricum* var. *symmetricum*, *C. teres*, *C. vultur* var. *japonicum*, *Corythodinium tessellatum*, *Goniodoma polyedricum*, *Lingulodinium polyedrum*, *Ornithocercus quadratus*, *O. magnificus*, *O. steinii*, *O. thumii*, *Phalacroma argus*, *Phalacroma cuneus*, *P. doryphorum*, *Podolampas bipes*, *P. elegans* e *Pyrophacus steinii*.

Além disso, foram registradas novas ocorrências de cianobactérias (*Katagnymene spiralis*, *K. pelagica*, *Richellia intracellularis*, *Trichodesmium tenue*) e dinoflagelados (*Ceratium belone*, *C. declinatum* var. *angusticornum*, *C. karstenii*, *C. pentagonum* var. *longisetum*, *Gonyaulax birostris*, *Phalacroma mitra*, *Protoperidinium oceanicum* e *Spiraulax kofoidii*). As espécies que apresentaram os maiores valores de biovolume celular e biomassa em carbono foram: *Katagnymene pelagica* (284.603 μm^3 e 22.207 $\text{pgC}\cdot\mu\text{m}^{-3}$), *Pyrocystis noctiluca* (21.269.151 μm^3 e 1.641.388 $\text{pgC}\cdot\mu\text{m}^{-3}$), *Ceratium pentagonum* var. *longisetum* (518.579 μm^3 e 50.251 $\text{pgC}\cdot\mu\text{m}^{-3}$) e *Hemiaulus membranaceus* (92.813 μm^3 e 3.077 $\text{pgC}\cdot\mu\text{m}^{-3}$) (RIBEIRO DE QUEIROZ et al., 2014).

Na Paraíba, foram realizadas pesquisas sobre a composição florística incluindo os trabalhos de Sassi (1991), Sassi et al. (1991) e Moura et al. (1995). No estuário do rio Paraíba do Norte os gêneros mais frequentes foram *Chaetoceros*, *Coscinodiscus*, *Nitzschia*, *Rhizosolenia* para as diatomáceas e *Ceratium* para os dinoflagelados. A densidade celular oscilou entre $0,6 \times 10^6$ e $3,2 \times 10^6$ Cél.L⁻¹, com a fração do nanofitoplâncton a mais expressiva correspondendo a um máximo de 93,43% do fitoplâncton total (SASSI, 1991; MOURA et al., 1995).

As primeiras informações sobre o fitoplâncton no litoral dos estados de Sergipe e Alagoas foram realizadas por Eskinazi-Leça (1967), que estudou a composição das diatomáceas nas circunvizinhanças da desembocadura do estuário do rio São Francisco. Foram identificadas 46 espécies, entre as quais destacaram-se *Chaetoceros coarctatus*, *C. diversus*, *Cylindrotheca closterium*, *Rhizosolenia calcar-avis*, *R. hebetata* f. *semispina*, *R.*

imbricata var. *shrubsolei* e *R. styliformis*, como as mais frequentes e abundantes. Essa pesquisa foi realizada dentro do Projeto Akarua, com o apoio financeiro da SUDENE, cujo objetivo foi a identificação de áreas pesqueiras e suas características hidro/biológicas no litoral do Nordeste.

Os trabalhos posteriores continuaram com o enfoque florístico, com levantamento do fitoplâncton no Parque Municipal Marinho de Paripueira (MELO-MAGALHÃES et al., 1999) onde foram identificadas 78 espécies. Durante o período chuvoso foram abundantes as diatomáceas *Coscinodiscus lineatus* e *Thalassionema nitzschioides*, e durante o período de estiagem *Campyloneis grevillei*.

No complexo estuarino-lagunar de Mundaú e Manguaba, foram realizadas as pesquisas de Eskinazi-Leça e Santana (1977) e Eskinazi-Leça (1976) com enfoque nas diatomáceas. Melo-Magalhães et al. (2004) estudando as cianobactérias verificaram densidades celulares variando de $540 \times 10^3 \text{ Cél.L}^{-1}$ (período de estiagem) a $1.635 \times 10^3 \text{ Cél.L}^{-1}$ (período chuvoso), que coincidiram com a dominância de *Oscillatoria sancta* (período de estiagem) e *Microcystis aeruginosa* (período chuvoso). Os autores verificaram também que os maiores valores de densidade ocorreram durante o período chuvoso e em estações de coleta com maior influência de água doce.

Pesquisas sobre o fitoplâncton no estuário do rio Vaza-Barris com enfoque no biovolume celular foram realizadas por Moura Junior (1997), que registrou um biovolume total de $28.659,66 \times 10^3 \mu\text{m}^3/\text{L}$ para as cianobactérias, enquanto para as diatomáceas e os dinoflagelados um biovolume total de $12.662.988,65 \times 10^3 \mu\text{m}^3/\text{L}$ e $201.877,59 \times 10^3 \mu\text{m}^3/\text{L}$, respectivamente.

No estuário do rio São Francisco, as pesquisas realizadas englobam a composição e a densidade da comunidade fitoplanctônica (SOUZA et al., 1999; MELO-MAGALHÃES et al., 2011). De acordo com Barbosa (2011), as diatomáceas (*Aulacoseira* sp., *A. granulata*, *A. ambigua* f. *spiralis*, *A. islandica*, *Epithemia* sp., *Pleurosira laevis*, *Synedra ulna*), a cianobactéria (*Plankthotrix* sp.) e a clorofíceas (*Pediastrum simplex* e *Sphaerocystis schroeteri*) foram representativas neste ecossistema estuarino.

Na plataforma continental dos estados de Sergipe e Alagoas, os trabalhos realizados por Sardeiro (1982) e Sardeiro e Eskinazi-Leça (1984) analisaram amostras coletadas em 29 estações localizadas ao longo da plataforma, resultando na identificação de 65 espécies, com destaque para os gêneros *Chaetoceros* e *Rhizosolenia*.

Moreira Filho et al. (1994/1995), considerando que grande parte das informações florísticas estavam diluídas em publicações esporádicas, reuniu os dados existentes em única

publicação numa tentativa de contribuir para uma avaliação da flora das diatomáceas ao longo do litoral e da plataforma continental dos estados de Sergipe e Alagoas.

Na Bahia, os trabalhos realizados abrangem principalmente o Arquipélago de Abrolhos. Masuda (2009), registrou uma variação na densidade celular de $5,6 \times 10^3$ Cél.L⁻¹ a $1,8 \times 10^5$ Cél.L⁻¹, onde o nanofitoplâncton foi a fração que mais contribuiu com valores acima de 80% do total. Estudando a distribuição vertical do fitoplâncton, Souza (2010) registrou valores de clorofila *a* oscilando entre 0,08 e 0,30 µg.L⁻¹ e densidades entre $2,01 \times 10^4$ e $3,05 \times 10^5$ Cél.L⁻¹. Esses autores também observaram que o nanofitoplâncton foi o principal contribuinte da comunidade fitoplanctônica.

Merece destaque o recente trabalho de Ferreira et al. (2012) realizado no Porto de Aratu, no qual são apontadas as espécies mais frequentes de diatomáceas (*Chaetoceros* sp., *Coscinodiscus* sp., *Guinardia flaccida*, *Hemidiscus hardmanianus*, *Nitzschia paradoxa*, *Pseudonitzschia* sp., *Skeletonema costatum*, e *Synedra* sp.), dinoflagelados (*Ceratium furca*, *Protoperidinium conicum*) e clorofícea (*Chlamydomonas* sp.) associados aos aspectos ecológicos das populações.

Foi realizada também uma pesquisa sobre a variação sazonal e espacial da clorofila *a* no estuário do rio Cachoeira (SILVA et al., 2015), onde os autores registraram uma variação nas concentrações de clorofila *a* de 20 a 793 µg/L e classificaram a área como mesotrófica (na porção externa) e eutrófica/hipereutrófica (na porção interna).

Dentre os estados do Nordeste, Pernambuco é o que possui uma maior diversidade de trabalhos sobre o fitoplâncton em variados ambientes aquáticos. As pesquisas começaram na década de 1960 com o trabalho de Eskinazi e Satô (1963/64) realizado na praia de Piedade, onde foram identificadas 53 espécies de diatomáceas, dentre as quais *Bacteriastrum hyalinum*, *Hemidiscus hardmanianus*, *Rhizosolenia setigera*, *R. calcaravis*, e *Skeletonema costatum* foram muito frequentes. Foi a primeira contribuição para o conhecimento das diatomáceas na costa nordestina brasileira e foram descritas pela primeira vez para o Brasil as espécies *Amphora arenaria*, *Grammatophora hamulifera*, *Podocystis adriatica* e *Triceratium contortum*.

Satô et al. (1963/64) estudaram um florescimento da cianobactéria *Trichodesmium erythraeum* na costa do Recife e Tamandaré. Observaram as células, os filamentos e os tricomas, além da análise de densidade e experimentos de descoloração das células. Foi registrada uma densidade celular máxima de 2.580,00 Cél.L⁻¹ de *Trichodesmium erythraeum* e identificadas três tipos de colônias constituídas de células escuras e células claras.

Eskinazi (1965/66) estudou as diatomáceas em Barra das Jangadas e registrou como primeiras ocorrências para o Brasil as espécies *Actinocyclus roperii*, *Nitzschia fasciculata*, *Pinnularia clericcii* var. *correntina* e *Rhaphoneis discoides*. Ainda em Barra das Jangadas, Ottmann et al. (1967), realizou um estudo sobre os efeitos da poluição, onde destacou as espécies *Bellerochea malleus*, *Cerataulus turgidus*, *Coscinodiscus centralis*, *C. excentricus*, *Cyclotella meneghiniana*, *Melosira sulcata* e *Thalassiosira* sp. como dominantes.

A partir desses estudos pioneiros, as pesquisas sobre o fitoplâncton foram intensificadas. Na plataforma continental do Recife, Eskinazi-Leça e Passavante (1972) observaram maiores valores de densidade celular no período chuvoso. Os gêneros mais representativos foram *Rhizosolenia* e *Chaetoceros*. Passavante (1979) realizou o primeiro levantamento sobre os dinoflagelados, dentre as espécies identificadas, 16 foram citadas pela primeira vez no Brasil (*Amphisolenia bidentata*, *A. bifurcata*, *Ceratium carriense*, *C. cephalotum*, *C. contortum* var. *contortum*, *C. contrarium*, *C. gravidum*, *C. hexacanthum* f. *spiralis*, *C. longirostrum*, *C. macroceros* var. *macroceros*, *C. vultum* f. *japonicum*, *Ornithocercus quadrata* f. *quadrata*, *Pyrocystis elegans*, *P. hamulus* var. *inaequalis*, *P. hamulus* var. *semicircularia* e *Pyrophacus horologicum* var. *steinii*).

Na mesma área, Silva (1982) estudou as diatomáceas registrando duas novas ocorrências para o Brasil (*Grammatophora flexuosa* e *Rhizosolenia styliformis* var. *latissima*) e outras 10 espécies para Pernambuco (*Achnanthes longipes*, *Campylodiscus ecclesianus*, *Chaetoceros atlanticus*, *C. pseudocurvisetus*, *Ethmodiscus gazellae*, *Grammatophora flexuosa*, *Rhizosolenia acuminata*, *R. styliformis* var. *latissima*, *Rhaphoneis surirella* e *Synedra ulna*).

Com intuito de definir um padrão anual do fitoplâncton, Eskinazi-Leça et al. (1997), realizaram uma pesquisa em três perfis perpendiculares à costa da plataforma continental de Pernambuco. Os autores registraram dois padrões anuais, um com aumento de células por litro durante o período chuvoso, característico de regiões costeiras com pequena influência terrígena e regiões oceânicas, e outro ciclo com aumento no número de células por litro durante o período de estiagem característico de áreas com forte influência terrígena.

Com o objetivo de mapear a distribuição das espécies do gênero *Ceratium*, Koenig e Lira (2005) estudaram sete perfis perpendiculares à costa de Pernambuco. Identificaram 58 táxons dos quais 27 foram novas ocorrências para o Estado (*Ceratium arietinum* var. *arietinum*, *C. arietinum* var. *gracilentum*, *C. breve* var. *parallelum*, *C. breve* var. *smidtii*, *C. concilians*, *C. contortum* var. *karstenii*, *C. deflexum*, *C. digitatum*, *C. euarquatum*, *C. falciforme*, *C. fusus* var. *seta*, *C. horridum* var. *buceros*, *C. incisum*, *C. lunula*, *C.*

paradoxides, *C. pentagonum* var. *subrobustum*, *C. pentagonum* var. *tenerum*, *C. platycorne*, *C. praelongum*, *C. ranipes*, *C. symmetricum* var. *coarctatum*, *C. symmetricum* var. *symmetricum*, *C. tenue* subsp. *tenue*, *C. tenue* subsp. *tenuissimum*, *C. tripos* subsp. *tripodioides*, *C. vultur* f. *summatranum* e *C. vultur* f. *recurvum*).

Sobre o microfitoplâncton nas regiões nerítica e oceânica de Pernambuco, Koenig et al. (2009) identificaram 173 espécies, onde, os dinoflagelados (*Ceratium contortum* var. *contortum*, *C. pentagonum* var. *tenerum*, *C. teres*, *C. macroceros* var. *gallicum*, *Ceratocorys horrida* e *Pyrocystis noctiluca*), as cianobactérias (*Oscillatoria princeps*, *Oscillatoria* sp. e *Trichodesmium erythraeum*) e a diatomácea (*Rhizosolenia styliformis*) foram muito frequentes. As espécies *Leptocylindrus danicus* e *Trichodesmium erythraeum* foram dominantes.

Monteiro et al. (2010, 2012) estudaram a ocorrência e descreveram as características morfológicas da espécie *Trichodesmium thiebautii*, além da sua distribuição espacial e temporal na plataforma continental de Pernambuco. Os autores registraram maiores densidades na superfície e durante o período de estiagem, com valores variando de 100 a 1.700 filamentos.L⁻¹.

Melo et al. (2014) estudaram a variação sazonal e espacial do microfitoplâncton nas áreas costeiras adjacentes ao Porto do Recife, identificando 123 táxons. Destacaram-se as diatomáceas *Coscinodiscus centralis*, *Helicotheca tamesis* e *Skeletonema* cf. *costatum* e as cianobactérias *Planktothrix agardhii* e *Trichodesmium thiebautii*. Durante o período chuvoso ocorreu florescimentos de *P. agardhii* e *T. thiebautii*.

No litoral norte do estado foram realizadas diversas pesquisas com enfoque na biomassa e produtividade, bem como na composição da comunidade fitoplanctônica no Canal de Santa Cruz (ESKINAZI-LEÇA et al., 1980; CAVALCANTE et al., 1981; PASSAVANTE, 1981; FLORES MONTES et al., 1998), no estuário do rio Botafogo (PASSAVANTE e KOENING, 1984; LACERDA et al., 2004), no estuário do rio Timbó (KOENING e ESKINAZI-LEÇA, 1987/89; SILVA-CUNHA et al., 1987/89; GREGO et al., 2004), no estuário do rio Paripe (LACERDA et al., 1998), no estuário do rio Jaguaribe (SANTOS FERNANDES et al., 1998), no estuário do rio Goiana (FEITOSA et al., 1999a), no estuário do rio Igarassu (LEÃO et al., 2008) e no sistema estuarino de Itamaracá (Canal de Santa Cruz e estuários dos rios Carrapicho e Botafogo) (TIBÚRCIO, 2011).

Destaca-se também o registro de novas ocorrências para o estado de Pernambuco das quais, três foram observadas para o sistema estuarino de Itamaracá (*Chaetoceros pseudocrinitus*, *Craticula ambigua* e *Meuniera membranacea*) (TIBÚRCIO, 2011) e seis para

o estuário do rio Timbó (*Pleurosigma exsul*, *Oscillatoria sancta*, *Euglena deses*, *Protoperidinium divaricatum*, *Gymnodinium caudatum* e *Hyalotheca mucosa*) (GREGO, 2004).

Foram desenvolvidas diversas pesquisas no litoral sul de Pernambuco, no estuário de Barra das Jangadas (BRANCO et al., 2002; LACERDA, 2004), na área estuarina de Suape (ESKINAZI-LEÇA e KOENING, 1985/86; KOENING e ESKINAZI-LEÇA, 1991; BARROS-FRANCA e BATISTA, 1991; KOENING et al., 1995a; KOENING et al., 1996; KOENING et al., 2002; SANTIAGO et al., 2010a; BORGES, 2011), na Baía de Tamandaré (RAPÔSO, 1979; MOURA, 1991; MOURA e PASSAVANTE, 1994/95; GALVÃO, 1996; ROSEVEL DA SILVA et al., 2004a; ROSEVEL DA SILVA et al., 2005), nos estuários Ilhetas e Mamucabas (LOSADA et al., 2003; ROSEVEL DA SILVA et al., 2004b), no estuário do rio Formoso (HONORATO DA SILVA et al., 2004; HONORATO DA SILVA et al., 2009), no estuário do rio dos Passos (AQUINO et al., 2015a), no estuário do rio Sirinhaém (HONORATO DA SILVA, 2009), no estuário do rio Ariquindá (GREGO et al., 2009; GREGO, 2010), no estuário do rio Una (BASTOS et al., 2005), no estuário do rio Maracaípe (ANDRADE et al., 2004), na Bacia do Pina (FEITOSA e PASSAVANTE, 1990; FEITOSA e PASSAVANTE, 1991/1993; MAIA et al., 1993; MAIA, 1995; FEITOSA et al., 1999b; NASCIMENTO et al., 2003; SANTOS et al., 2009) e na plataforma continental (ESKINAZI-LEÇA, 1991).

Dentre estes trabalhos vale salientar que Lacerda (2004), no estuário de Barra das Jangadas, citou pela primeira vez para Pernambuco as espécies de cianobactérias (*Arthrospira spirulinoides* e *Microcystis robusta*), as euglenofíceas (*Euglena tuba*, *Lepocinclis fusiformis*, *L. salina*, *L. sphagnophila*, *Phacus caudata* var. *ovalis*, *P. kelikoides*, *P. orbicularis*, *P. orbicularis* var. *caudatus*, *Trachelomonas armata*, *T. armata* var. *longispina*, *T. armata* var. *steinii* e *T. dastuguei*), as diatomáceas (*Dimeregramma fulvum*, *D. marinum*, *Eunotia exigua*, *E. sarekensis*, *Hantzschia linearis*, *Nitzschia distans*, *N. insignis*, *N. smithii* e *Surirella apiculata*) e as clorofíceas (*Ankistrodesmus bibrainus*, *Chlamidocapsa bacillus*, *Characium limneticum*, *Cosmarium formulosum*, *Crucigeniella apiculata*, *Monoraphidium arcuatum*, *M. saxatile*, *Pediastrum duplex* var. *duplex*, *P. duplex* var. *clathratum*, *P. duplex* var. *punctatum*, *P. duplex* var. *rugulosum*, *Scenedesmus brevispina*, *S. decorus*, *S. dispar*, *S. incrassatulus*, *S. intermedius*, *S. obtusus*, *S. obliquus*, *S. quadricauda* var. *granulatus*, *S. quadricauda* var. *longispina*, *S. quadricauda* var. *quadricauda*, *S. quadricauda* var. *westii*, *Selenastrum gracile*, *Staurastrum leptocladum* var. *africanum*, *Staurodesmus megacanthus*, *Tetraedron regulare* e *Tetrastrum elegans*).

Honorato da Silva (2009), no estuário do rio Sirinháem, registrou como novas ocorrências para Pernambuco, a euglenofícea (*Phacus anacoelus*), o dinoflagelado (*Ceratium porrectum*), as diatomáceas (*Pinnularia crucifera*, *Surirella striatula*, *S. tenera*, *Thalassiosira decipiens* e *Triceratium repletum*) e as clorofíceas (*Batrachospermum* sp., *Closterium costatum*, *C. intermedium*, *C. leibleinii*, *C. lunula*, *C. parvulum*, *C. striatula*, *Coelastrum sphaericum*, *Cosmarium denticulatum* e *Gonatozygon pilosum*).

Santiago (2010), Santiago et al. (2010b) e Borges et al. (2012), com estudos na Bacia Portuária do Recife registraram concentrações de clorofila *a* que oscilam entre 3,30 e 54,40 mg.m⁻³ e ocorre uma diferenciação sazonal na contribuição das frações do fitoplâncton, com microfitoplâncton mais expressivo no período chuvoso e o pico/nanofitoplâncton no período de estiagem. A cianobactéria (*Oscillatoria* sp.) e as diatomáceas (*Coscinodiscus centralis*, *Coscinodiscus* sp. e *Helicotheca tamesis*) caracterizam esse estuário. Outras espécies foram muito frequentes nesse ecossistema, como *Oscillatoria agardhii*, *O. princeps*, *Asterionellopsis glacialis*, *Aulacoseira granulata*, *Biddulphia biddulphiana*, *Fragilaria capucina*, *Gyrosigma balticum*, *Rhabdonema adriaticum* e *Pediastrum duplex*.

Sobre a comunidade fitoplanctônica no estuário do rio Beberibe, existe um único registro realizado por Borges et al. (2013) sobre as concentrações de clorofila *a*. Os autores identificaram valores oscilando entre 1,20 e 60,77 mg.m⁻³ com o período chuvoso destacando-se como o mais expressivo.

No estuário do rio Capibaribe as pesquisas desenvolvidas foram relacionadas à biomassa (clorofila *a*) (KOENING et al., 1995b), biovolume e biomassa em carbono (BORGES et al. 2014) e composição florística (AQUINO et al., 2014a; 2015b). A comunidade fitoplanctônica é diversificada destacando-se as diatomáceas, com a dominância de *Planktothrix agardhii* (período chuvoso) e *Cyclotella* sp. (período de estiagem) (AQUINO et al., 2015b). A espacialidade e as marés afetaram a distribuição das espécies e os valores de clorofila *a* (AQUINO et al., 2014a). O biovolume celular médio varia de 0,22 a 70,64 mm³.L⁻¹ sendo mais expressivo na cianobactéria (*Planktothrix isothrix*) e nas diatomáceas (*Coscinodiscus* sp. e *Thalassiosira* sp.), enquanto a biomassa em carbono varia de 0,08 a 20,58 mgC.L⁻¹ destacando-se as cianobactérias *Oscillatoria* sp. e *Planktothrix isothrix* como as principais produtoras no período chuvoso e a diatomácea *Coscinodiscus* sp. no período de estiagem (BORGES et al., 2014).

Vale ainda salientar estudos florísticos e estruturais em zonas de praia como Porto de Galinhas (FONSECA et al., 2002; MACHADO, 2009), Campas (AMANCIO, 2005), Candeias (PASSAVANTE et al., 2008; SANTOS et al., 2007), Brasília Formosa, Boa Viagem

e Piedade (FERREIRA et al., 2010; FERREIRA et al., 2013) e São José da Coroa Grande (FERREIRA et al., 2015) e na área recifal de Serrambi (JALES, 2011), cujos resultados possibilitam o entendimento da distribuição qualitativa e quantitativa do fitoplâncton das áreas mais costeiras em direção ao oceano aberto. No Arquipélago de Fernando de Noronha, foram realizados estudos sobre a composição do fitoplâncton e do microfítobentos (LIMA, 2012) e sobre registro de estágios de divisão celular nas espécies de dinoflagelados *Ornithocercus magnificus*, *O. thumii*, *O. quadratus* e *O. steinii* (AQUINO et al., 2014b).

No Nordeste do Brasil, em relação aos grupos funcionais, a maioria dos trabalhos foram realizados em ambientes de água doce, como reservatórios, açudes e lagos.

No Rio Grande do Norte, Silva (2013) estudou os reservatórios de Santa Cruz do Apodi e Pau dos Ferros e os grupos funcionais identificados (K, M, H₁, S₁, L_O, S_N, L_M, MP, P, D, C, J, F, X₁, N, Y e W₂). No reservatório de Pau dos Ferros ocorreu a dominância do grupo S_N (*Cylindrospermopsis raciborskii*), enquanto no reservatório de Santa Cruz os grupos K (*Aphanocapsa delicatissima* e *Aphanocapsa incerta*) e S₁ (*Planktolyngbya limnetica*) foram predominantes. De maneira geral, a autora classificou os reservatórios como mesotróficos.

No lago Extremoz, Pinto e Becker (2014) observaram a presença de três grupos funcionais S₁ (*Planktolyngbya limnetica*), L_O (*Merismopedia glauca*) e K (*Cyanodictyon imperfectum*, *Chroococcus minor*, *Aphanocapsa* sp. e *Synechocystis* sp.), que são característicos de ambientes rasos e/ou misturados, caracterizando a área de estudo como mesotrófica.

Na Paraíba, Melo (2012) estudou os açudes Soledade e Taperoá II e a lagoa Panati e identificou os grupos funcionais S_N, K, L_M, M, S₁, F, X₁, J, D, MP, W₁, W₂, P e N. Foram predominantes no açude Soledade os grupos funcionais K, S_N, M, S₁ e L_M, enquanto no açude Taperoá II foram S_N, K, L_M, S₁, X₁, J, F, D, MP, W₁ e W₂, e na lagoa Panati foram K, L_M, J, F, X₁, D, MP, W₁, W₂, P e N.

Em Alagoas, no reservatório Mundaú a comunidade fitoplanctônica de acordo com Moura et al. (2007), foi composta por 16 grupos funcionais (B, D, F, J, L_M, L_O, M, P, S₁, S₂, S_N, W₁, X₁, Y e Z). Os autores observaram uma dominância do grupo S composto por cianobactérias (*Cylindrospermopsis raciborskii*, *Geiterinema amphibium*, *Pseudoanabaena catenata*, *Raphidiopsis mediterranea* e *Spirulina* sp.).

Em Pernambuco, Nascimento (2010) observou a co-dominância dos grupos funcionais H₁ (*Anabaena* sp. e *Aphanizomenon* sp.), MP (*Pseudoanabaena catenata*), S₁ (*Planktothrix agardhii* e *Geiterinema amphibium*), S_N (*Cylindrospermopsis raciborskii*) e P (*Aulacoseira granulata*). De acordo com os grupos funcionais descritos, o autor relacionou o predomínio

dos principais grupos com ambientes eutróficos e com pouca disponibilidade de luz, pois as espécies predominantes foram de cianobactérias e adaptadas a ambientes com pouca disponibilidade luminosa.

Dantas (2010) estudou os reservatórios de Tapacurá, Das Unas e Jucazinho e identificou 21 grupos funcionais (F, G, J, MP, N, P, T_D, X₁, X₂, H₁, K, L_O, S₁, S_N, A, C, D, E, W₂ e Y). O autor verificou que a profundidade dos reservatórios estudados influenciou a ocorrência dos grupos funcionais, com alguns grupos apresentando maiores abundâncias nas áreas mais rasas (A, H₁) e nas áreas mais profundas (S₁).

Dias (2009) estudou o reservatório Arcoverde e agrupou as espécies identificadas do fitoplâncton em 16 grupos funcionais (H₁, Z, S_N, S₁, S₂, M, L_O, J, P, F, X₁, E, B, D, W₂ e Y), com a predominância de grupos relacionados às cianobactérias e a ambientes eutrofizados.

A maioria dos trabalhos sobre grupos funcionais evidenciou e confirmou a importância do uso de agrupar as espécies de acordo com as características ecológicas e como essa metodologia pode ser aplicada eficientemente em diferentes ecossistemas aquáticos, tanto de água doce, salobra ou marinha, indicando as mudanças nas condições ambientais.

Este levantamento bibliográfico em ecossistemas de água doce (reservatórios), salobra (estuários) e marinha (áreas costeiras e oceânicas) no Nordeste do Brasil, evidenciou a diversidade de trabalhos que abordam o fitoplâncton e sua interação com os parâmetros físico-químicos e a pequena quantidade de estudos abordando o biovolume, a biomassa em carbono e os grupos funcionais. Além do intuito de compilar os trabalhos sobre a comunidade fitoplanctônica realizados na região Nordeste brasileira, esse levantamento também serviu como base para as discussões realizadas nos capítulos seguintes desta tese.

4 ESTRUTURA DA TESE

De acordo com os objetivos e resultados obtidos ao longo da realização do presente estudo, esta tese foi dividida em quatro capítulos. Cada capítulo se refere a artigos científicos e seguem as normas de publicação das revistas selecionadas.

Capítulo 1: “Comunidade microfitoplanctônica e variáveis ambientais em um estuário eutrófico urbano (rio Capibaribe, Nordeste do Brasil)”

Este estudo avaliou a variação sazonal, espacial e entre marés da composição do fitoplâncton (abundância relativa, frequência de ocorrência, diversidade específica e uniformidade) e da clorofila *a* no estuário do rio Capibaribe.

Capítulo 2: “Descritores ambientais da comunidade fitoplanctônica e os parâmetros abióticos no estuário do rio Beberibe (Brasil)”

Esta pesquisa investigou a comunidade fitoplanctônica como indicadora de alterações na qualidade da água causadas pela ação de uma dragagem no estuário do rio Beberibe.

Capítulo 3: “Composição e estrutura do fitoplâncton em estuários tropicais impactados de Pernambuco, Brasil”

Este estudo relacionou a variação sazonal e espacial da composição, biovolume e biomassa em carbono do fitoplâncton com os parâmetros abióticos em alguns estuários tropicais degradados (Pernambuco, Nordeste do Brasil)

Capítulo 4: “Dinâmica das associações fitoplanctônicas em estuários tropicais (Nordeste, Brasil)”

Este capítulo tem como objetivo caracterizar as associações fitoplanctônicas e sua relação com as variáveis ambientais e investigar a variação sazonal, espacial e entre marés dessas associações fitoplanctônicas em estuários no Nordeste do Brasil.

Capítulo 1

Comunidade microfitoplanctônica e variáveis ambientais em um estuário eutrófico urbano (rio Capibaribe, Nordeste do Brasil)

Comunidade microfitoplanctônica e variáveis ambientais em um estuário eutrófico urbano (rio Capibaribe, Nordeste do Brasil)

Abstract. Estuaries are dynamic ecosystems with high spatial heterogeneity greatly and are influenced by seasonal and tidal cycles. This study investigated the effects of spatial, seasonal, and tidal variations on the physical, chemical, and biological characteristics of water and the consequences for the structure and distribution of the microphytoplankton community in the Capibaribe River estuary (Northeast Brazil). Were identified 127 microphytoplanktonic taxa, dominated by diatoms (phylum Ochrophyta), which formed 54% of the total, followed by the phyla Cyanobacteria (18%), Chlorophyta (13%), Myzozoa (7%), Euglenozoa (5%), and Charophyta (3%). We observed a significant relationship between abiotic and biotic variables. Both spatial and tidal changes affected the distribution of species and chlorophyll *a* because of salinity variations. The microphytoplankton species had low relative abundance. The cyanobacterium *Planktothrix agardhii* (G.) Anagnostidis & Komárek and diatom *Cyclotella* sp. were dominant during the rainy and dry seasons, respectively. Based on the seasonal distribution of the phytoplankton in this study, was suggest periodic monitoring of this area to identify the long-term effects of environmental variables on the phytoplankton. This approach is important for understanding the dynamics of *P. agardhii* due to its potential toxicity.

Keywords: cyanobacteria, diatoms, estuarine dynamics, salinity.

Resumo. Os estuários são ecossistemas dinâmicos, de elevada heterogeneidade espacial e influenciados pelo regime de marés e sazonalidade. Esse trabalho objetivou investigar o efeito espacial, sazonal e ação das marés sobre as características físicas, químicas e biológicas da água e suas consequências para a estrutura e distribuição da comunidade fitoplanctônica do estuário do rio Capibaribe (Nordeste do Brasil). Foram identificados 127 táxons fitoplanctônicos, dentre os quais, as diatomáceas (filo Ochrophyta) estiveram representadas com 54% do total, seguida dos filios Cyanobacteria (18%), Chlorophyta (13%), Myzozoa (7%), Euglenozoa (5%) e Charophyta (3%). Observou-se uma relação significativa entre as variáveis bióticas e abióticas. A variação espacial e ação das marés afetaram na distribuição das espécies e da clorofila *a*, como consequência da variação da salinidade. As espécies apresentaram baixa abundância relativa. A cianobactéria *Planktothrix agardhii* (G.) Anagnostidis & Komárek e a diatomácea *Cyclotella* sp. dominaram durante os períodos chuvoso e de estiagem, respectivamente. Com base na distribuição sazonal do fitoplâncton, no

presente estudo, sugere-se o monitoramento periódico da área, para constatar o efeito das variáveis ambientais sobre o fitoplâncton a longo prazo, bem como, o conhecimento da dinâmica de *P. agardhii*, devido ao potencial tóxico da espécie.

Palavras-chave: cianobactérias, diatomáceas, dinâmica estuarina, salinidade.

1 Introdução

A maioria dos ecossistemas costeiros é intensamente afetada pelas ações antrópicas. Este fato é observado para o estuário do rio Capibaribe, no Nordeste do Brasil (MACEDO et al., 2007; SANTIAGO et al., 2010; FLORES-MONTES et al., 2011), uma área altamente urbanizada. O estuário do rio Capibaribe é caracterizado como fortemente eutrofizado (FLORES-MONTES et al., 2011), devido ao intenso e inadequado despejo de efluentes domésticos e industriais. Apesar de antropizado, os registros para esse ambiente demonstram uma considerável diversidade biológica, como consequência da renovação das águas, ocasionada pelo alto dinamismo das marés (SRH, 2010).

Os ecossistemas estuarinos são fortemente influenciados pelo fluxo das marés e assim, juntamente com a presença do fluxo do rio, proporcionam grande heterogeneidade espacial. Adicionalmente, os estuários tropicais estão sujeitos a mudanças, em curto prazo, de acordo com os períodos climáticos da região. Assim sendo, as características bióticas e abióticas da água podem estar sujeitas a alterações, de acordo com o efeito da dinâmica das marés, da espacialidade e da sazonalidade local (PAERL e JUSTIC, 2013). Considerando que o fitoplâncton promove respostas rápidas às mudanças ambientais, o estudo da dinâmica de suas populações faz-se necessário, para identificar os organismos ecologicamente descritores da área, bem como quais fatores abióticos influenciam na sua distribuição e dinâmica.

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar as espécies que constituem o microfitoplâncton como indicadores da qualidade ambiental em um estuário tropical (o rio Capibaribe) no Nordeste do Brasil. Antes disso, pretende-se responder à seguinte pergunta: “Como são distribuídas as variáveis (físicas, químicas e biológicas) através de variações sazonal, espacial e de maré, e como elas influenciam na composição, estrutura e distribuição do microfitoplâncton?” Por se tratar de um ecossistema estuarino, espera-se que as diatomáceas estejam bem representadas, como usualmente observado para demais estuários tropicais (LACERDA et al., 2004; PEREZ et al., 2009) devido às suas características eurialinas (REYNOLDS, 2006).

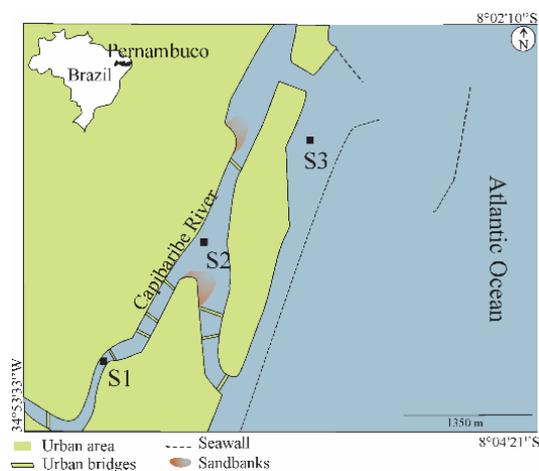
2 Material e Métodos

O estuário do rio Capibaribe está localizado no centro da cidade de Recife, Nordeste do Brasil (Figura 1). Considerando toda a extensão de sua bacia, o rio percorre por 42 municípios e tem como principais efluentes os reservatórios de abastecimento de água de Tapacurá, Jucazinho, Carpina, Goitá e Poço Fundo.

A área tem um elevado grau de urbanização, levando a diferentes e às vezes conflitantes, usos da água, tais como a pesca intensiva, o turismo, o despejo de efluentes domésticos e industriais, transporte de mercadorias através do Porto do Recife, desmatamento do manguezal e erosão costeira.

Em todas as unidades de sua bacia, o rio Capibaribe é considerado poluído e eutrofizado, como confirmado pelas elevadas concentrações de nutrientes, coliformes termotolerantes, bem como os valores indetectáveis de oxigênio dissolvido (BRAYNER et al., 2003; FLORES-MONTES et al., 2011). Este fato é consequência do lançamento intenso e inadequado de efluentes domésticos e industriais. Apesar de ser fortemente afetado pelas ações antrópicas, Lins et al. (2007) demonstraram que o rio Capibaribe apresenta uma considerável diversidade biológica, se comparada a outros rios costeiros do Brasil. Estes mesmos autores demonstraram uma crescente abundância da ictiofauna do rio Capibaribe em direção à jusante, como consequência da melhor qualidade da água, devido a diluição pelas águas marinhas.

Figura 1. Área estuarina do rio Capibaribe (Pernambuco, Nordeste do Brasil), onde estão localizadas as estações de amostragem S1, S2 e S3.



Fonte: Eveline Pinheiro de Aquino.

No geral, no estuário do rio Capibaribe predominam espécies indicadoras de ambientes impactados, como os rotíferos e cladóceros, dentre o zooplâncton (ESKINAZI-SANT'ANNA e TUNDISI, 1996; PARANAGUÁ et al., 2005) e do peixe *Poecilia vivipara* Bloch & Schneider (LINS et al., 2007). A Secretaria de Recursos Hídricos do estado de Pernambuco (SRH, 2010) ressalta a necessidade de estudos com abordagem acerca dos seres autotróficos presentes no rio (fitoplâncton e macrófitas), uma vez que contribuem para a oxigenação da água e a manutenção das demais comunidades biológicas. Na área estuarina, estão presentes faixas reduzidas de manguezais como consequência de aterros para o desenvolvimento da cidade, desde décadas atrás. Muitas dessas faixas de mangue foram resultados de replantios, e hoje se encontram em estado de expansão, mesmo que de forma lenta, estando presentes principalmente *Rhizophora mangle* Linnaeu, *Laguncularia racemosa* (L.) C. F. Gaertn e *Avicenia* spp. (SRH, 2010).

2.1 Coleta e análise dos dados

As amostras para a análise das variáveis químicas, físicas e biológicas foram coletadas em três estações ao longo do estuário do rio Capibaribe. As coletas ocorreram durante três meses, abrangendo tanto o período de estiagem (outubro a dezembro de 2010) e chuvoso (maio a julho de 2011), e durante baixa-mar e preamar, nas marés de sizígia.

2.2 Variáveis ambientais

A altura das marés foi obtida através do Banco Nacional de Dados Oceanográficos da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN, 2010), referente ao Porto de Recife (Pernambuco, Nordeste do Brasil). Os dados de precipitação foram obtidos a partir do monitoramento de longo prazo da estação do Instituto de Tecnologia de Pernambuco.

Durante cada evento de amostragem, a profundidade local foi mensurada com uso de um medidor de profundidade. A transparência da água foi verificada com um disco de Secchi. A superfície da água foi amostrada com uma garrafa Kitahara (1L) e foram medidos os valores de temperatura e salinidade, usando um termômetro digital e refratômetro, respectivamente. Para verificar a presença de estratificação térmica e/ou salina, a água foi coletada na superfície e na profundidade máxima local.

A água foi filtrada para avaliar a clorofila *a*, correspondente a biomassa fitoplanctônica ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$), com extração de pigmentos. Para tanto, foram utilizados filtros Milipore HA (0,47 μm de diâmetro e 0,45 μm de porosidade), bem como acetona a 90%, com posterior análise espectrofotométrica (UNESCO, 1966; STRICKLAND e PARSONS, 1972).

Para verificar a normalidade dos dados, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk (ZAR, 1996), em que todos os dados estiveram em uma distribuição normal. As diferenças das variáveis ambientais, em função dos fatores sazonalidade (período de estiagem e chuvoso), espacialidade (estações S1, S2 e S3) e entre marés (baixa-mar e preamar), foram avaliadas através do teste Anova One-Way, no programa Statistica 7.0 (STATSOFT, 2004).

2.3 Composição das espécies

O microfitoplâncton foi coletado (n=36) através de arrastos horizontais superficiais com uma rede de plâncton de abertura de malha de 64 μm , durante três minutos em cada estação de amostragem. As amostras foram fixadas em formol neutro a 4% (NEWELL e NEWELL, 1963).

As espécies foram identificadas com base em bibliografias específicas: Balech (1988), Bérard-Therriault et al. (1999), Chrétiennot-Dinet et al. (1990), Cupp (1943), Hoppenrath et al. (2009), Hustedt (1930, 1959, 1961-1966), Silva-Cunha e Eskinazi-Leça (1990) e Sournia (1967, 1986). Quando necessário, para evidenciar os cloroplastos, foi utilizado o sistema de contraste de fase e para melhor observação da ornamentação de frústulas de algumas espécies de diatomáceas, foi aplicado o método proposto por Carr et al. (1986). Para a classificação taxonômica foi utilizado o sistema de Guiry e Guiry (2012).

Os valores de abundância foram calculados, como recomendado por Lobo e Leighton (1986), com as espécies dominantes definidas como sendo responsáveis por mais de 50% do número total de organismos na amostra, e espécies abundantes nas quais a ocorrência é maior do que o valor médio dos indivíduos da amostra. Baseado nos cálculos de frequência de ocorrência (MATEUCCI e COLMA, 1982), as espécies foram classificadas em quatro categorias: muito frequente (com os valores acima de 70% de ocorrência), frequente (entre 70 e 40%), pouco frequente (entre 40 e 10%) e esporádica (inferior a 10%). Posteriormente, o índice de Shannon-Weiner (SHANNON, 1948) foi calculado, com os dados expressos em $\text{bits}\cdot\text{cel}^{-1}$ (1 bit equivale a uma unidade), e a uniformidade foi calculada de acordo com o recomendado por Pielou (1967) e usando o programa Bioestat 5.0 (AYRES et al., 2007).

Para verificar a normalidade dos dados do microfitoplâncton (abundância, frequência, diversidade e uniformidade), foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk (ZAR, 1996), com a transformação e padronização dos dados em \log_{10} , quando necessário, para os dados de distribuição não normal. As diferenças nos dados foram avaliadas em função dos fatores sazonalidade (períodos de estiagem e chuvoso), espacialidade (estações S1, S2 e S3) e marés (baixa-mar e preamar) pelo teste Anova One-Way, utilizando do programa Statistica 7.0

(STATSOFT, 2004). Para verificar a relação das variáveis ambientais e as espécies, foi utilizada a Análise de Correspondência Canônica (ACC), utilizando o programa Canoco 4.5 (BRAAK e SMILAUER 2002). A significância das variáveis foi testada através do teste de permutação de Monte Carlo, com 999 permutações irrestritas nos dois primeiros eixos da ACC.

3 Resultados

3.1 Variáveis ambientais

3.1.1 Períodos climáticos e período entre marés

O período chuvoso foi caracterizado por uma precipitação pluviométrica média de 518,5 mm e maiores profundidades locais. Por outro lado, o período de estiagem foi caracterizado por uma precipitação pluviométrica média de 48,56 mm, águas superficiais mais quentes ($F_{(1,34)} = 20,86$; $p < 0,01$) e de maior salinidade ($F_{(1,34)} = 16,88$; $p < 0,01$; Figura 2).

No que diz respeito aos períodos de marés, durante a preamar foram registrados maiores valores de salinidade superficial ($F_{(1,34)} = 8,17$; $p < 0,01$). A baixa-mar apresentou maiores teores de clorofila *a* ($F_{(1,34)} = 7,88$; $p < 0,01$; Figura 2).

3.1.2 Mudanças espaciais

Foi observada diferença significativa entre as estações de coleta para a profundidade local ($F_{(2,33)} = 235,8$; $p < 0,01$), sendo a estação intermediária (S2) mais rasa, com menor média de $1,5 \pm 0,1$ m, enquanto que a estação mais próxima à jusante (S3) foi a mais profunda, com maior média de $15,8 \pm 0,4$ m (Figura 2). Para a transparência da água foram registradas diferenças significativas ($F_{(2,33)} = 14,59$; $p < 0,01$), com os valores crescentes no sentido à jusante, com médias oscilando de $30 \pm 0,1$ cm a $1,40 \pm 0,2$ m.

Não ocorreram diferenças significativas na temperatura ou salinidade ($F_{(1)} = 0,3$; $p = 0,57$ e $F_{(1)} = 13,5$; $p = 0,24$; respectivamente), entre as camadas superficial e profunda estando a coluna d'água ausente de estratificação térmica e salina. Na camada superficial não houve diferença espacial significativa para ambas as variáveis ($F_{(2,33)} = 1,42$; $p = 0,25$ para a temperatura e $F_{(2,33)} = 4,51$; $p = 0,02$ para a salinidade). A temperatura da água apresentou distribuição em gradiente decrescente no sentido à jusante, com a menor média de $27^{\circ}\text{C} \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ e maior de $29,5 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$ (Figura 2). Por outro lado, a salinidade apresentou seus valores distribuídos em gradiente crescente no sentido à jusante, com médias oscilando de zero a $30 \pm 2,0$.

A biomassa fitoplanctônica (clorofila *a*) não apresentou variação espacial significativa ($F_{(2,33)} = 2,40$; $p = 0,11$). Esses valores diminuíram no sentido a jusante, de $2,9 \pm 2,4$ mg/m³ até $34,4 \pm 20,8$ mg/m³ (Figura 2). Assim, a porção mais a jusante do estuário (S3) foi a mais profunda e caracterizada por menores teores de clorofila *a*, e maior capacidade de penetração de luz, sendo o oposto observado para a porção mais a montante (S1).

3.2 Composição florística

Foram identificados 127 táxons compondo a comunidade fitoplanctônica dominada pelas diatomáceas (filo Ochrophyta), as quais estiveram representadas por 54% do total, seguidas das cianobactérias (filo Cyanobacteria) com 18%, clorofíceas (filo Chlorophyta) com 13%, dinoflagelados (filo Myzozoa) com 7%, euglenofíceas (filo Euglenozoa) com 5% e carofíceas (Filo Charophyta) com 3%.

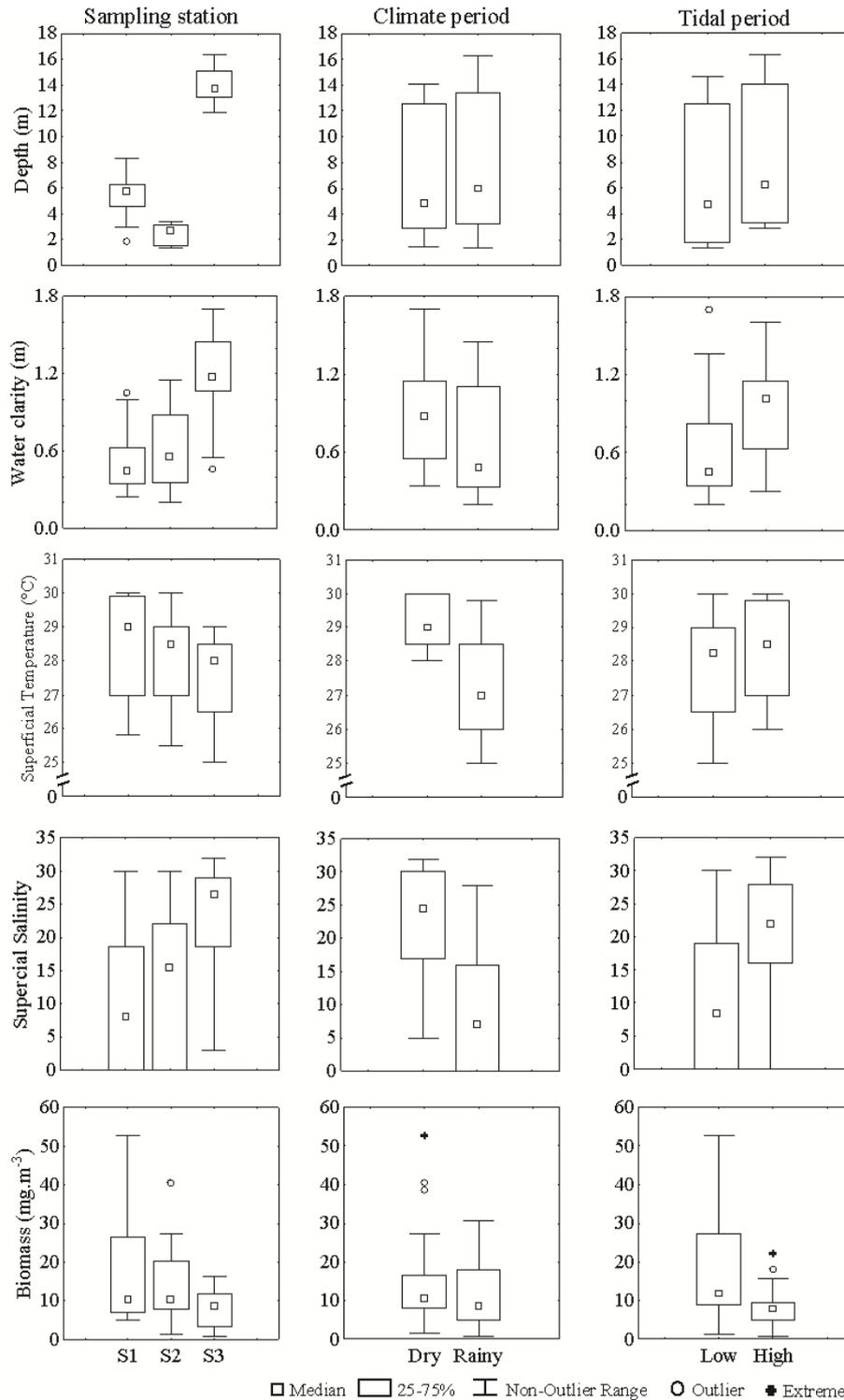
Os valores de diversidade específica e uniformidade não apresentaram diferença sazonal ($F_{(1)} = 0,27$; $p = 0,61$), espacial ($F_{(2,33)} = 11,54$; $p = 0,32$) e entre marés ($F_{(1)} = 0,12$; $p = 0,72$) significativas. A diversidade variou de 1,96 bits.cel⁻¹ (na baixa-mar e na estação S2, no período de estiagem) a 5,0 bits.cel⁻¹ (na preamar, na estação S2, durante o período chuvoso), seguidos dos dados de uniformidade, entre 0,88 e 0,99.

A abundância das espécies foi considerada como baixa para as três abordagens (sazonal, espacial e entre marés), com a maioria das espécies classificada como abundante, pouco abundante e rara. Exceção a esta condição para a cianobactéria *Planktothrix agardhii* (G.) Anagnostidis & Komárek e a diatomácea *Cyclotella* sp. (Figura 3), as quais apresentaram maiores abundâncias para um número maior de amostragens e caracterizando o período chuvoso e o período de estiagem, respectivamente.

3.2.1 Períodos climáticos

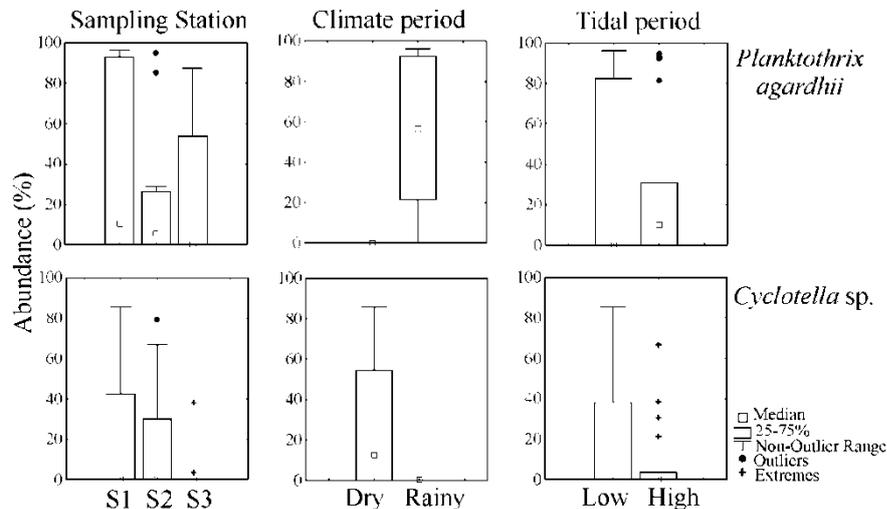
Ocorreu diferença significativa sazonal na abundância relativa da cianobactéria *P. agardhii* ($F_{(1,34)} = 40,87$; $p < 0,01$), com elevados valores durante o período chuvoso. Essa espécie foi encontrada com as diatomáceas *Aulacoseira granulata* (E.) Simonsen e *Cylindrotheca closterium* (E.) Reimann & Lewin, com máximo de abundância de 52,05 e 74,53%, respectivamente. Enquanto que, durante o período de estiagem, a cianobactéria dominante foi *Oscillatoria* sp. (83,0%), que foi encontrada com as diatomáceas da ordem Centrales, *Cyclotella* sp., *Cyclotella glomerata* Bachmann, *Helicotheca tamesis* (S.) Ricard e *Skeletonema costatum* (G.) Cleve, estas com abundâncias entre 50 e 85%. Dentre estas, *Cyclotella* sp. apresentou diferença sazonal significativa ($F_{(1,34)} = 13,22$; $p < 0,01$; Figura 3).

Figura 2. Variáveis ambientais estudadas ao longo das estações de coletas S1, S2 e S3 do estuário do rio Capibaribe, durante as diferentes marés (low and high) e períodos climáticos (dry and rainy). Sampling station=estações; Climate period=período climático; Tidal period=período de maré; S1=estação 1; S2=estação 2; S3=estação 3; Dry=período de estiagem; Rainy=período chuvoso; Low=baixa-mar; High=preamar; Depth=profundidade; Water clarity=transparência da água; Superficial temperature=temperatura superficial; Superficial salinity=salinidade superficial; Biomass=biomassa (clorofila *a*).



Fonte: Eveline Pinheiro de Aquino.

Figura 3. Abundância relativa (%) da cianobactéria *Planktothrix agardhii* (G.) Anagnostidis & Komárek e da diatomácea *Cyclotella* sp. durante os períodos de estiagem e chuvoso, bem como nos dois períodos de marés (baixa-mar e preamar) e nas diferentes estações (S1, S2 e S3) ao longo da porção estudada do estuário do rio Capibaribe. Sampling station=estações; Climate period=período climático; Tidal period=período de maré; S1=estação 1; S2=estação 2; S3=estação 3; Dry=período de estiagem; Rainy=período chuvoso; Low=baixa-mar; High=preamar; Abundance=Abundância relativa.



Fonte: Eveline Pinheiro de Aquino.

Quanto à frequência de ocorrência, houve diferença sazonal significativa ($F_{(1)} = 302,1$; $p < 0,01$). Durante o período de estiagem, não ocorreram espécies na categoria muito frequente. Em contrapartida, durante o período chuvoso estiveram enquadrados nesta categoria a cianobactéria *P. agardhii* e a diatomácea *Coscinodiscus centralis* Ehrenberg. Como frequentes e comuns a ambos os períodos climáticos, foram registradas as diatomáceas *Gyrosigma balticum* (E.) Rabenhorst e pequenas diatomáceas penadas (identificadas até o nível de Ordem Pennales). A maioria das espécies foi classificada como pouco frequente e esporádica.

3.2.2 Diferenças entre marés

As diatomáceas *C. closterium*, *A. granulata*, *C. glomerata*, *H. tamesis* e *S. costatum* foram dominantes durante a preamar, enquanto pequenas diatomáceas cêntricas (identificadas somente até o nível de Ordem Centrais) e *Cyclotella* sp. foram dominantes na baixa-mar. As cianobactérias *P. agardhii* e *Oscillatoria* sp2 foram comuns a ambas as marés.

Não houve diferença significativa na frequência de ocorrência entre as marés ($F_{(1)} = 0,11$; $p = 0,74$). Não foram observadas espécies muito frequentes. Por outro lado, a

cianobactéria *P. agardhii* e as diatomáceas *C. centralis*, *C. closterium*, Pennales, *G. balticum* foram consideradas frequentes em ambas as marés (entre 70 e 40% de ocorrência).

3.2.3 Mudanças espaciais

Em todas as três estações, a cianobactéria *P. agardhii* foi dominante. Esta espécie foi encontrada com outras espécies co-dominantes, como a seguir: as espécies *Oscillatoria* sp₂, *C. closterium* e *Cyclotella* sp. foram dominantes na estação S1; as diatomáceas *A. granulata*, *Cyclotella* sp., *C. glomerata* e Centrales foram dominantes na estação S2; as espécies *Oscillatoria* sp₂, *C. glomerata*, *H. tamesis*, *S. costatum* foram dominantes na estação S3 (Figura 3).

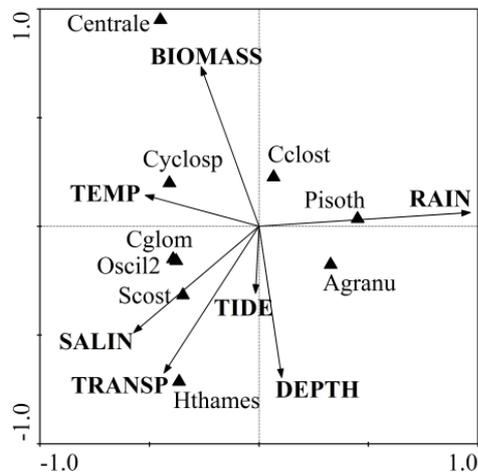
Não houve diferença espacial significativa na frequência de ocorrência ($F_{(2)}= 68,8$; $p= 0,03$). A diatomácea *G. balticum* esteve como muito frequente nas estações S1 e S2, mas não ocorreu na estação S3. Entre as três estações, as espécies frequentes foram *P. agardhii*, *C. centralis*, *Coscinodiscus* sp., *C. closterium*, Centrales, Pennales e *Pediastrum duplex* Meyen.

3.3 Interação entre espécies e variáveis ambientais (CCA)

A Análise de Correspondência Canônica (ACC) indicou uma associação entre as espécies dominantes e as variáveis ambientais ($p<0,01$). Os eixos 1 e 2 explicaram 36,4% da variância das espécies no gradiente ambiental. A correlação entre as espécies e as variáveis ambientais explicou 36,8% da ordenação canônica nos dois primeiros eixos (Tabela I).

No eixo 1, as espécies *P. agardhii*, *C. closterium* e *A. granulata* foram diretamente correlacionadas com a precipitação pluviométrica e a profundidade, e em correlação inversa com a clorofila *a*, temperatura, maré, salinidade e transparência da água. No eixo 2, as espécies *Cyclotella* sp., *C. closterium* e *P. agardhii* foram diretamente correlacionadas com a temperatura, clorofila *a* e precipitação pluviométrica, e inversamente correlacionada com maré, salinidade, transparência da água e profundidade (Figura 4).

Figura 4. Ordenação da ACC entre as espécies e as variáveis ambientais no estuário do rio Capibaribe. Legendas: Agranu= *Aulacoseira granulata*; Centrale= Centrales; Cyclosp= *Cyclotella* sp.; Cclost= *Cylindrotheca closterium*; Cglom= *Cyclotella glomerata*; Hthames= *Helicotheca tamesis*; Oscil2= *Oscillatoria* sp2; Pagar= *Planktothrix agardhii*; Scost= *Skeletonema costatum*. Temp= temperatura superficial; Salin= salinidade superficial; Transp= transparência da água; Tide= maré; Depth= profundidade; Rain= precipitação pluviométrica; Biomass= biomassa (clorofila *a*).



Fonte: Eveline Pinheiro de Aquino.

Tabela 1. Resumo estatístico e coeficientes de correlação entre as espécies fitoplanctônicas e as variáveis ambientais dos dois primeiros eixos da ACC.

	Eixo1	Eixo2
Eigenvalues	0,506	0,398
Varição dos dados abióticos (%)	20,4	16,0
Varição da relação espécies-ambiente (%)	20,6	16,2
Correlação espécies-ambiente	0,995	0,998
Teste de Monte-Carlo:		
Significância do primeiro eixo canônico – <i>p</i>	0,001	
Significância de todos os eixos canônicos – <i>p</i>	0,001	
Coeficiente canônico		
Precipitação	-0,8563	0,1722
Maré	0,0528	0,1741
Profundidade	-0,0264	0,0919
Transparência	0,4186	-0,0334
Temperatura	0,3488	-0,1774
Salinidade	0,5476	0,0753
Biomassa	0,2436	-0,1065

Fonte: Eveline Pinheiro de Aquino.

4 Discussão

4.1 Variáveis ambientais

Foram observadas menores concentrações de clorofila *a* no estuário do rio Capibaribe nas zonas mais profundas e durante o período chuvoso, na preamar e na porção mais próxima a jusante. O aumento da salinidade devido a influência das águas marinhas (na preamar e na

porção à jusante), aliado ao aumento do fluxo do rio durante os meses de chuva (ARAÚJO et al., 2013) são fatores que contribuem para a diminuição da clorofila *a* (PASSAVANTE e FEITOSA, 2004).

Foi constatada que a estação S2 é uma zona transitória entre as porções mais próximas a montante e a jusante. Nesta zona transitória, os dados ambientais (transparência da água, temperatura, salinidade e clorofila *a*) apresentaram valores intermediários. Uma vez que a clorofila *a* esteve melhor representada na estação S1, pode-se constatar que a espacialidade afeta na distribuição da clorofila *a*, em função, principalmente, da variação da salinidade ao longo do estuário durante o período deste estudo. Fato semelhante foi observado em outros estuários, como na Bélgica e Holanda (MUYLEART et al., 2009) e no Brasil (GREGO et al., 2009). Assim, a salinidade foi uma variável importante para determinar o efeito espacial e entre marés na distribuição da clorofila *a*.

4.2 Composição das espécies

Estudos anteriores no estuário do rio Capibaribe indicaram o efeito da sazonalidade para a estrutura da comunidade fitoplancônica. A elevada riqueza de espécies tem sido registrada durante o período chuvoso (BORGES et al., 2012). Semelhantemente, as espécies de cianobactérias aparecem como dominantes durante o período chuvoso e as diatomáceas dominam no período de estiagem (SANTIAGO et al., 2010).

Nesta pesquisa, em geral, as espécies apresentaram baixa abundância em ambos os períodos climáticos, exceto para *P. agardhii* e *Cyclotella* sp., as quais dominaram durante o período chuvoso e de estiagem, respectivamente. Suas dominâncias (>80%) indicam que o limite de suas abrangências determina o limite de muitas outras espécies (CLOERN e DUFFORD, 2005). Nas últimas décadas, a clorofíceia *Botryococcus* sp. desapareceu das áreas estuarinas do Sul do Brasil (TORGAN et al., 2001), um fenômeno que pode estar associado ao despejo de esgotos domésticos e resíduos agrícolas (MEDEANIC e DILLENBURG, 2005) e que podem também provocar um rápido crescimento populacional de cianobactérias (PAERL e PAUL, 2012).

Por sua vez, as cianobactérias são importantes nesse ambiente devido à ampla capacidade de fixação de nitrogênio atmosférico, por serem tolerantes a elevadas concentrações de fósforo e por regular sua posição na coluna d'água, em função da disponibilidade de luz. Neste contexto, as espécies de cianobactérias foram dominantes no estuário da Lagoa dos Patos (região Sul do Brasil), resultando em valores muito elevados de clorofila *a* (ODEBRECHT et al., 2005). O fenômeno de substituição de espécies e

dominância de cianobactérias também pode ser observado em outras regiões do mundo, como consequência das mudanças climáticas globais (HAYS et al., 2005; PAERL e PAUL, 2012).

Alguns estudos sobre sucessão ecológica e longas séries temporais em ecossistemas aquáticos apontam o fenômeno das mudanças climáticas como um dos responsáveis pela substituição de populações de diatomáceas por cianobactérias, ou mesmo coexistindo em intensa competição (PAERL e PAUL, 2012), com o possível aparecimento de espécies tóxicas (MOORE et al., 2008). Portanto, a distribuição sazonal do fitoplâncton no estuário do rio Capibaribe mostrou uma substituição da dominância da diatomácea *Cyclotella* sp. pela cianobactéria *P. agardhii*. Esta cianobactéria foi encontrada em eventual co-dominância com outras diatomáceas (*A. granulata* e *C. closterium*). Reforça-se este fato ao fazer comparações com estudos anteriores no estuário do rio Capibaribe, durante a década de 80, o qual relata as diatomáceas como principais componentes do fitoplâncton, tais como *C. closterium* e *Coscinodiscus* spp. (TRAVASSOS, 1991).

Diante desse contexto, sugere-se o monitoramento periódico da área, a fim de constatar o efeito das mudanças climáticas sobre o fitoplâncton. Ressalta-se ainda a importância de estudos da dinâmica da cianobactéria *P. agardhii*, devido aos inúmeros trabalhos que indicam a sua capacidade de produção de toxinas. Tais toxinas são bioacumuladas nos níveis tróficos e com efeitos drásticos aos seres vivos (REVIERS, 2006).

Segundo Trigueiros e Orive (2000), os organismos fitoplancônicos são melhores distribuídos durante a baixa-mar. Porém, foi observado neste estudo que a oscilação dos períodos de marés pouco influenciou na variação das espécies. Acredita-se que *Cyclotella* sp. e *P. agardhii* foram mais dominantes durante a baixa-mar devido a baixa salinidade correspondente, como demonstrado na ACC (Figura 4).

Foi observado que a heterogeneidade espacial do estuário do rio Capibaribe tem forte efeito na dominância das espécies, principalmente devido à variação da salinidade ao longo do estuário, que funciona como uma barreira ecológica para a distribuição dos organismos (MUYLEART et al., 2009), tais como determinados dinoflagelados (CARIC et al., 2011).

A maioria das cianobactérias habita águas continentais (REVIERS, 2006) e, portanto, este fato explica o caso das espécies identificadas neste estudo, tais como *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju, *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing e *Aphanizomenon* sp., ocorrerem como raras e esporádicas na estação mais a jusante (S3). Exceção a esta condição foi *P. agardhii* e assim, foi proposto que esta espécie é tolerante à salinidade, uma vez que é encontrada mundialmente tanto em águas continentais (DANTAS et al., 2012), como estuarinas, salinas e salobras (PEREZ et al., 2009).

Adicionalmente, para algumas cianobactérias fixadoras de nitrogênio, Paerl e Justic (2013) afirmam que a salinidade não é barreira para a sua expansão. Esse é o caso da cianobactéria *P. agardhii*, que no estuário do rio Capibaribe esteve bem representada nas três estações, com elevados valores de abundância e frequência. Diante do exposto, ressalta-se a necessidade de experimentos para determinar suas características fisiológicas, a fim de confirmar sua capacidade eurialina. Na porção mais a montante (S1), *P. agardhii* foi quase 100% abundante, o que indica o seu bom desenvolvimento em águas de baixa salinidade, de menores profundidades e sem efeito da transparência da água.

Da mesma forma, outras espécies de *Planktothrix* têm sido encontradas em estuários na Bélgica e na Holanda, em maiores abundâncias nas porções mais continentais (MUYLEART et al., 2009). Porém, devido alcance de *P. agardhii* até a estação mais a jusante do estuário do rio Capibaribe (S3; mesmo em menor proporção quanto à S1), concluiu-se que o fluxo do rio transporta espécies até a foz. Ou seja, a presença desta e demais cianobactérias na zona estuarina do rio pode ser explicada, principalmente, pela contribuição das águas de seus efluentes continentais. Dantas et al. (2012) registrou a presença de *P. agardhii*, *C. raciborskii*, *M. aeruginosa* e outras espécies em reservatórios que abastecem o rio Capibaribe.

A salinidade também foi fator determinante para a ocorrência mais restrita da diatomácea *Cyclotella* sp. na estação mais a jusante (S3). Portanto, esta diatomácea não tolera elevada salinidade, como muitas outras espécies do gênero que são caracterizadas como de hábito continental (ESKINAZI-LEÇA et al., 2012; GUIRY e GURIY, 2012). Como constatado na ACC, restrições à sua distribuição são inversamente proporcionais a transparência da água e a profundidade local. Assim, a luminosidade não é fator limitante para o seu desenvolvimento, e sugere-se que esta espécie poderia ser um componente do fitobentos, devido à sua presença em águas rasas e disponibilidade na coluna d'água e ressuspensão do sedimento de fundo.

Através da Análise de Correspondência Canônica, foi evidenciada que as maiores abundâncias de *Cyclotella* sp. estiveram relacionadas aos maiores valores de clorofila *a* (nos meses de estiagem, baixa-mar e mais próximo à montante), bem como eventual dominância de diatomáceas Centrais. Assim sendo, sugere-se que estes organismos são os principais componentes da biomassa fitoplanctônica no estuário do rio Capibaribe. Ambas as diatomáceas consistem em pequenas formas de vida e, por isso, não foi possível a identificação até os níveis taxonômicos menores.

Em conclusão, os dados do microfitoplâncton apresentados mostraram somente variação limitada pelas marés. No entanto, houve grandes mudanças sazonais e espaciais, com

os períodos chuvoso e de estiagem representados por cianobactérias e diatomáceas, respectivamente. As porções mais próximas a montante e a jusante apresentaram diferenças no microfitoplâncton, com uma zona intermediária transitória entre os extremos (montante e jusante).

Existe a necessidade de estudos de sucessão ecológica, quanto ao fenômeno das mudanças climáticas, com foco nas espécies dominantes de diatomáceas e cianobactérias e durante um longo período. Adicionalmente, os dados desta pesquisa podem servir de alerta, quanto à atividade de pesca intensa realizada na área, principalmente no que se refere aos meses de maiores chuvas, ao longo das diferentes porções estuarinas e em ambos os períodos de marés, devido à presença marcante da cianobactéria *P. agardhii*. Assim, futuros monitoramentos da área são necessários, bem como pesquisas experimentais, no que se referem à salinidade como fator limitante para essa espécie, sua potencial toxicidade e os efeitos ao homem e ao meio ambiente.

Capítulo 2

Descritores ambientais da comunidade fitoplanctônica e os parâmetros abióticos no estuário do rio Beberibe (Brasil)

Descritores ambientais da comunidade fitoplanctônica e os parâmetros abióticos no estuário do rio Beberibe (Brasil)

Abstract. The aim of this study was to investigate the phytoplankton as indicator of changes in water quality before (2011) during (2012) and after (2012) dredging, covering an interannual variation in the Beberibe River estuary (Brazil). The abiotic variables were examined (temperature, transparency, Dissolved Oxygen, salinity and Biochemical Oxygen Dissolved), chlorophyll *a* and phytoplankton composition. Most species was planktonic marine and despite the dredging, there was an increase in benthic species. Were dominant the cyanobacteria *Planktothrix agardhii* (rainy season) and the diatom *Bellerochea malleus* (dry season). The richness and diversity of species were similar before and during the dredging period, showing that the dredging did not cause significant changes; however, there was a progressive increase in planktonic diatoms, especially after the dredging. The short period of dredging was not enough to cause changes in phytoplankton community in the Beberibe River estuary.

Keywords: *Planktothrix agardhii*, *Bellerochea malleus*, species richness, phytoplankton

Resumo. O presente trabalho teve como objetivo investigar o fitoplâncton como indicador de alterações na qualidade da água antes (2011), durante (2012) e depois (2012) de dragagem, abrangendo uma variação interanual no estuário do rio Beberibe (Brasil). Foram examinadas as variáveis abióticas (temperatura, transparência, Oxigênio Dissolvido, salinidade e Demanda Bioquímica do Oxigênio), clorofila *a* e composição do fitoplâncton. A maioria das espécies foi planctônica marinha e apesar da dragagem, não ocorreu um aumento das espécies fitoplanctônicas. Foram dominantes a cianobactéria *Planktothrix agardhii* (período chuvoso) e a diatomácea *Bellerochea malleus* (período de estiagem). A riqueza e a diversidade das espécies foram semelhantes antes e durante o período de dragagem, evidenciando que o período de dragagem não causou modificações significativas, porém, ocorreu um aumento progressivo das diatomáceas planctônicas, principalmente depois da dragagem. O curto período da dragagem não foi suficiente para causar modificações na comunidade fitoplanctônica no estuário do rio Beberibe.

Palavras chave: *Planktothrix agardhii*, *Bellerochea malleus*, riqueza de espécie, fitoplâncton

1 Introdução

Os estuários são conhecidos mundialmente como ambientes de transição entre dois ecossistemas, o marinho e o de água doce, com marcadas mudanças nos parâmetros biológicos e abióticos, além de serem reconhecidos como locais altamente produtivos (MUYLAERT et al., 2009).

Em áreas altamente urbanizadas, esses ecossistemas recebem influência de atividades causadas pela ação antrópica através do lançamento de esgotos domésticos e industriais, além do procedimento de dragagem que é realizado para aumentar a profundidade através da retirada de sedimentos e permitir a navegação em áreas portuárias (CABRITA, 2014).

O estuário do rio Beberibe é uma área de proteção ambiental estadual (lei nº9.931/86) e está incluído em dois projetos, o de *Renaturalização do rio Beberibe* no qual em abril de 2012 teve o início da dragagem da foz do rio com o objetivo de alargar a calha e retirar o lixo e sedimentos acumulados que impedem o fluxo fluvial, e o de *Navegabilidade dos rios Capibaribe e Beberibe* que tem como objetivo facilitar a navegação e o transporte público de passageiros através de embarcações (CPRH, 2012).

As atividades de dragagem ocasionam o aumento na turbidez, a ressuspensão de sedimento e a remobilização de poluentes (metais pesados) tornando-os biologicamente disponíveis para serem acumulados pela biota (NAYAR et al., 2004; CABRITA, 2014; OLIVEIRA et al., 2014), além de causar prejuízos na pesca de subsistência. Podem ocasionar também mudanças na estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica, alterando a biomassa, favorecendo a ocorrência de florescimentos e consequentemente elevando a produtividade local (MOSER et al., 2012; GANG et al., 2014).

Estudos sobre os efeitos causados no fitoplâncton pela dragagem (NAYAR et al., 2004; FERREIRA et al., 2012; CABRITA, 2014), em diatomáceas bentônicas (LICURSI e GOMEZ, 2009) e na produção pelágica/bentônica (EWA-OBOHO et al., 2008) têm sido observados em diversos estuários. Analisar a comunidade fitoplanctônica nesse ecossistema é de vital importância, pois respondem rapidamente às alterações ambientais decorrentes da interferência antrópica ou natural, sendo necessário o desenvolvimento de indicadores confiáveis e sensíveis a essas modificações.

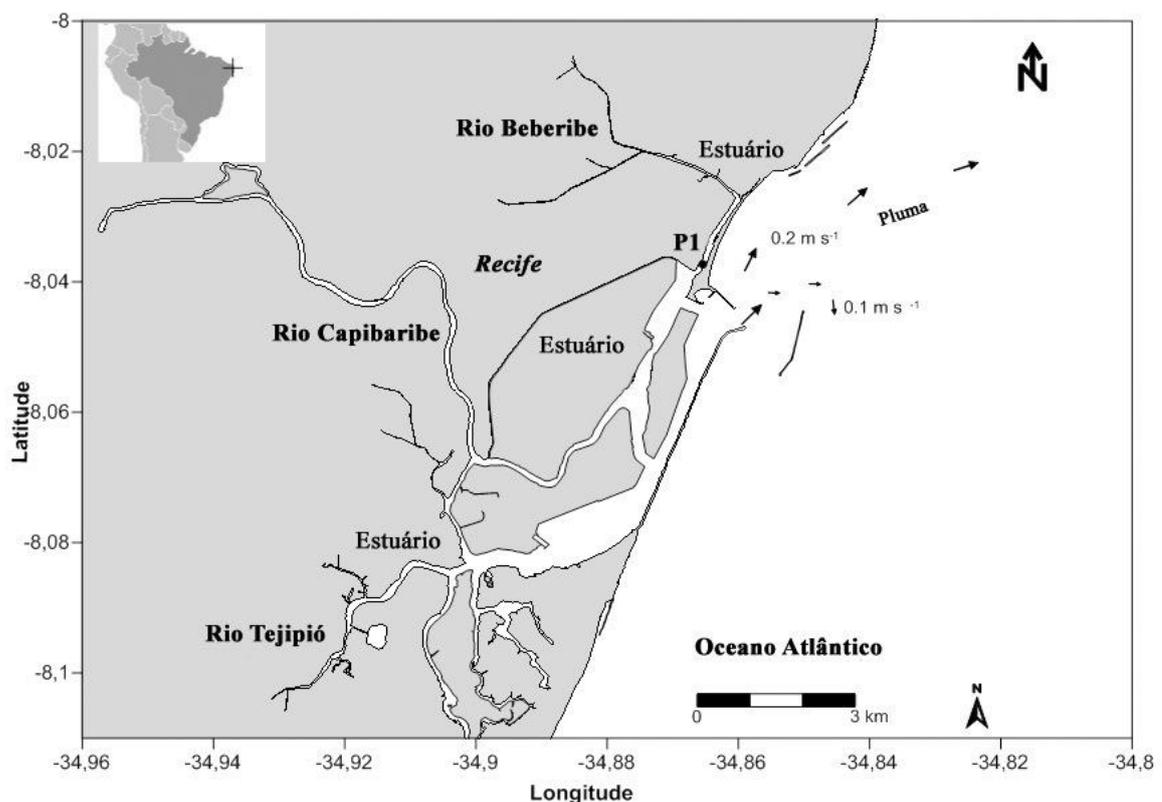
O presente trabalho teve como objetivo investigar a comunidade fitoplanctônica como indicadora da qualidade da água e testar a hipótese de que a riqueza de espécies será alterada, decorrente do processo de dragagem no estuário do rio Beberibe (Brasil).

2. Área Estudada

O rio Beberibe nasce no município de Camaragibe, possui uma área de drenagem de 150 km² e percorre 19 km de extensão até desaguar no Oceano Atlântico (CONDEPE, 1980; RIBEIRO e ARAÚJO, 2002; CPRH, 2012). Apresenta um clima do tipo As' (tropical quente e úmido), caracterizado por dois períodos pluviométricos distintos, um período chuvoso (março a agosto) e um período de estiagem (setembro a fevereiro) (ARAGÃO, 2004; MELO et al., 2014).

Considerado um dos ecossistemas mais poluídos de Pernambuco (CPRH, 2012), o estuário do rio Beberibe (P1; latitudes 7°59' e 8°02' S, longitudes 34°52' e 35°00' W), localizado na Região Metropolitana do Recife vem sofrendo nos últimos 50 anos com as consequências da ocupação desordenada de suas margens, resultando no assoreamento da sua calha, no estreitamento de sua largura e a contaminação da sua água através dos esgotos domésticos e industriais (GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO, 2008; CPRH, 2012) (Fig.1).

Figura 1 – Localização do ponto de coleta (P1) no estuário do Beberibe (PE, Brasil).



Fonte: Carlos Delgado Noriega.

3 Material e Métodos

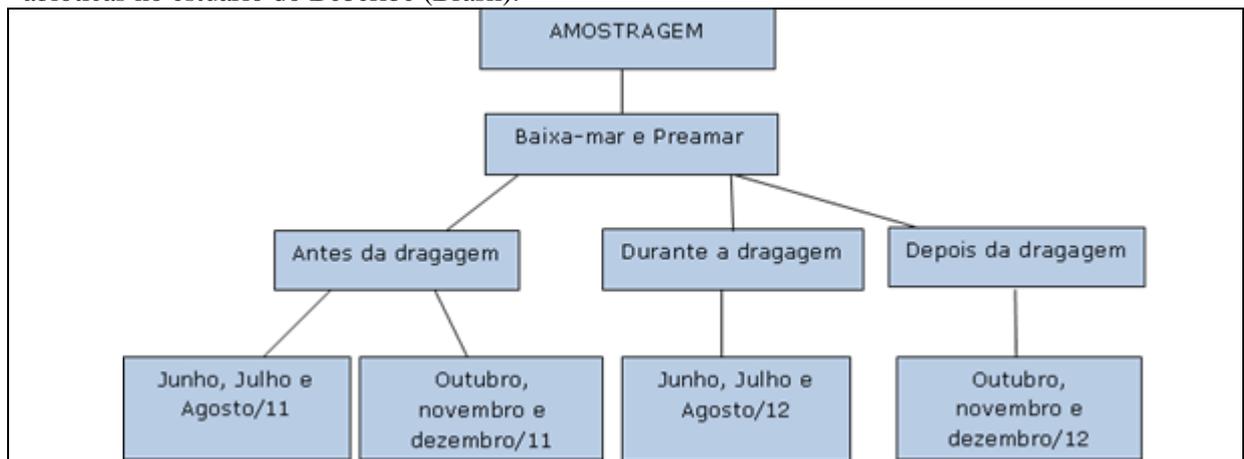
As coletas foram realizadas no período de dois anos, em 2011 (antes da dragagem) e 2012 (durante e depois da dragagem), no período chuvoso (junho, julho e agosto) e no período de estiagem (outubro, novembro e dezembro) na baixa-mar e preamar de maré de sizígia. Realizou-se um desenho esquemático subdividindo os períodos sazonais e os anos em antes, durante e depois da dragagem (Fig. 2).

3.1 Variáveis abióticas

Foram medidos *in situ* a temperatura da água através de um termômetro com precisão de $\pm 0,02^\circ\text{C}$ e a transparência da água através do disco de Secchi de cor branca e com 30 cm de diâmetro preso a um cabo graduado em centímetros.

As amostras para os demais parâmetros abióticos foram coletadas com o auxílio de uma garrafa de Kitahara e analisadas no Laboratório de Oceanografia Química da Universidade Federal de Pernambuco. A salinidade foi determinada através do método de Morh-Knudsen, descrito por Strickland e Parsons (1972). As amostras para o oxigênio dissolvido foram armazenadas em frascos tipo âmbar, fixadas em campo com soluções de sulfato de manganês e iodeto de potássio alcalino e posteriormente analisadas (até 24 horas). As concentrações de oxigênio dissolvido foram determinadas pelo método de Winkler modificado, descrito por Strickland e Parsons (1972). Para a demanda bioquímica do oxigênio (DBO_5), as amostras foram acondicionadas em frascos tipo âmbar e armazenadas em uma incubadora a 20°C , durante cinco dias. A análise foi realizada de acordo com as determinações contidas no *Standard Methods for the Examination of Waste-Water* (APHA, 1985).

Figura 2 – Desenho esquemático dos períodos sazonais de amostragem do fitoplâncton e variáveis abióticas no estuário do Beberibe (Brasil).



Fonte: Gislayne Cristina Palmeira Borges.

Para a análise quantitativa do fitoplâncton, as amostras foram coletadas com garrafa de Kitahara e armazenadas em recipientes plásticos de 1L de capacidade. As amostras correspondentes à biomassa fitoplanctônica foram analisadas a partir do teor de clorofila *a*, com filtragem e extração dos pigmentos, no Laboratório de Produção Primária do Departamento de Oceanografia, na Universidade Federal de Pernambuco. Foram utilizados filtros Millipore (0,47 µm de diâmetro e 0,45 µm de porosidade), bem como acetona a 90%, com posterior análise espectrofotométrica (UNESCO 1966; PARSONS e STRICKLAND, 1963).

3.2 Fitoplâncton

Para a análise qualitativa do fitoplâncton, as coletas foram realizadas através de arrastos horizontais superficiais durante 3 minutos, utilizando-se uma rede de plâncton com abertura de malha de 45 µm, com 1 m de comprimento e 30 cm de diâmetro de boca, com embarcação motorizada, com velocidade de aproximadamente 1 nó. Após cada coleta, o material foi fixado com formol neutro a 4% e armazenado em potes plásticos de 250 ml, de acordo com as recomendações de Newell e Newell (1963). As amostras estão armazenadas (depositadas) no Museu de Oceanografia da UFPE

Na análise, as amostras foram homogeneizadas, sendo retirada uma alíquota de 1,0 mL em lâmina semi-permanente para contagem e identificação dos táxons, utilizando-se o microscópio óptico Zeiss, com aumento de 400x. A identificação taxonômica dos organismos foi baseada em bibliografias especializadas: Balech (1988), Bérard-Therriault et al. (1999), Chrétiennot-Dinet et al. (1990), Cupp (1943), Hoppenrath et al. (2009), Hustedt (1930, 1959, 1961-1966), Silva-Cunha e Eskinazi-Leça (1990) e Sournia (1967, 1986). Quando necessário, para evidenciar os cloroplastos, foi utilizado o sistema de contraste de fase, com registro fotográfico, bem como, para melhor observação da ornamentação de frústulas de algumas espécies de diatomáceas, foi aplicado o método proposto por Carr et al. (1986).

Para o enquadramento dos táxons foi utilizado o sistema de classificação do banco de dados internacional ALGAEBASE (GUIRY e GUIRY, 2015).

A abundância de cada táxon foi calculada de acordo com Lobo e Leighton (1986) utilizando a seguinte classificação: dominante (espécie cuja ocorrência numérica é maior que 50% do número total de indivíduos da amostra) e abundante (espécie cuja ocorrência supera o valor médio de indivíduos da amostra). Foi utilizada a classificação de Mateucci e Colma (1982) para a frequência de ocorrência dos táxons, considerando-se número de amostras nas quais cada um ocorreu, em relação ao número total de amostras analisadas: muito frequente

($\geq 70\%$), frequente, ($40\% \geq F \leq 70\%$), pouco frequente ($10\% \geq F \leq 40\%$) e esporádica ($< 10\%$).

Foi calculada também a riqueza, que é correspondente ao número de táxons encontrados em cada amostra, o índice de diversidade específica de acordo com Shannon (1948) e a equitabilidade de acordo com Pielou (1967).

3.3 Análise estatística

Diferenças entre as variáveis abióticas, clorofila *a* e riqueza de espécies do fitoplâncton, foram comparadas através do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, baseado nos valores medianos realizado com o programa Bioestat 5.0; o nível de significância para o teste foi $p < 0,05$.

Foi realizada a Análise dos Componentes Principais (ACP) para determinar o agrupamento das espécies mais representativas quanto a frequência de ocorrência e a abundância relativa relacionadas às variáveis abióticas comparando os períodos antes, durante e depois da dragagem, utilizando o programa *NTSYS*.

4 Resultados

4.1 Mudanças induzidas nas condições ambientais

A tabela 1 apresenta as médias e o intervalo de valores das variáveis abióticas antes (período chuvoso e de estiagem de 2011), durante (período chuvoso de 2012) e depois (período de estiagem de 2012) da dragagem. Foram mais elevados antes da dragagem (período de estiagem), a temperatura da água, o oxigênio dissolvido e a demanda bioquímica do oxigênio, enquanto depois da dragagem (período de estiagem) foram a transparência da água e a salinidade. As variáveis abióticas não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) durante todo o período estudado.

Comparando o período chuvoso (antes e durante a dragagem), o estuário do rio Beberibe apresentou águas quentes ($p=0.51$) e salinas ($p=0.42$), com transparência reduzida ($p=0.46$), baixas concentrações de oxigênio dissolvido ($p=0.57$) e elevadas concentrações de DBO_5 ($p=0.10$) (Tab. 1). Enquanto no período de estiagem, observou-se que a temperatura da água, o oxigênio dissolvido e a DBO_5 apresentaram valores médios mais elevados antes da dragagem (2011), enquanto a transparência da água e a salinidade foram mais elevadas depois da dragagem (2012), ambos na preamar. A temperatura da água permaneceu elevada ($p=0.29$), com águas salinas ($p=0.63$), ocorreu um aumento nos valores de transparência da água ($p=0.51$), oxigênio dissolvido ($p=0.63$) e de DBO_5 ($p=0.42$) (Tab. 1).

Tabela 1 – Valores de temperatura da água (Temp.;°C), transparência da água (Transp.;m), salinidade, oxigênio dissolvido (OD;mg.L⁻¹) e demanda bioquímica do oxigênio (DBO₅;mg.mL⁻¹) em 2011 (antes da dragagem) e 2012 (durante e depois da dragagem) no estuário do Beberibe (Brasil). Legenda: PC=período chuvoso; PE=período de estiagem.

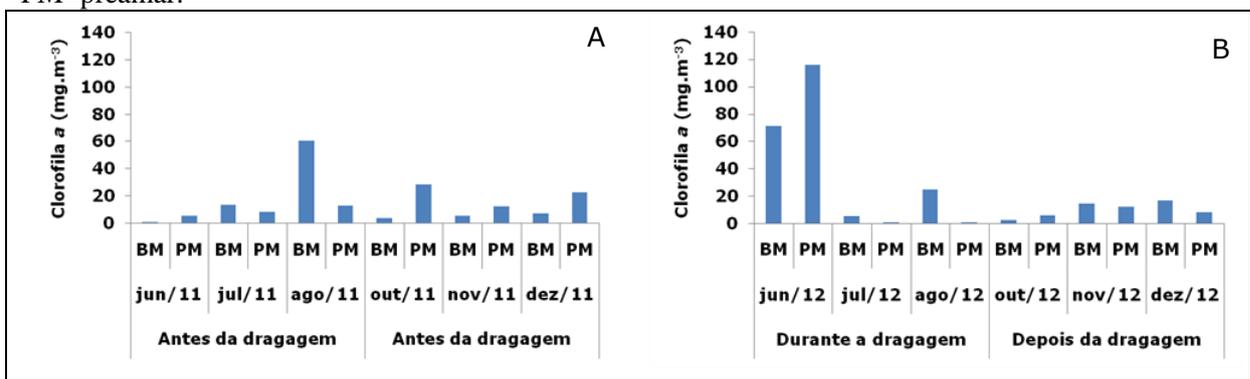
Parâmetros/ano	Período de amostragem			
	2011		2012	
	Antes da dragagem		Durante a dragagem	Depois da dragagem
	PC	PE	PC	PE
Temp. (°C)	24.42 (22-26)	27.17 (26-28)	25.17 (23-28)	26.75 (25.5-27)
Transp. (m)	0.37 (0.05-0.75)	0.61 (0.3-1.00)	0.48 (0.25-0.75)	0.72 (0.25-1.10)
OD (mg.L ⁻¹)	1.36 (ND-4.04)	2.71 (ND-6.89)	1.47 (ND-3.24)	1.82 (ND-4.03)
Salinidade	12.88 (0.07-29.27)	20.23 (3.21-29.41)	14.29 (0.88-32.40)	23.38 (9.29-33.73)
DBO ₅ (mg.mL ⁻¹)	1.28 (0.47-2.98)	3.68 (1.16-7.23)	2.88 (0.93-4.18)	2.74 (1.23-4.56)

Fonte: Gislayne Cristina Palmeira Borges.

4.2 Variação da biomassa fitoplanctônica (clorofila *a*)

A figura 3 mostra a variação da biomassa fitoplanctônica (clorofila *a*), antes, durante e depois da dragagem. A clorofila *a* apresentou um valor médio mais elevado no período chuvoso (durante a dragagem). A clorofila *a* variou de 5.92 a 60.77 mg.m⁻³ no período chuvoso (antes da dragagem), de 3.93 a 28.33 mg.m⁻³ no período de estiagem (antes da dragagem), de 0.65 a 115.87 mg.m⁻³ no período chuvoso (durante a dragagem) e de 2.56 a 16.36 mg.m⁻³ no período de estiagem (depois da dragagem) (Fig. 3 e Tab.2). Não foi observada diferença significativa para as concentrações de clorofila *a* (p=0.90).

Figura 3 – Variação da biomassa fitoplanctônica (clorofila *a*) (A) antes da dragagem (2011), (B) durante e depois da dragagem (2012) no estuário Beberibe (Brasil). Legenda: BM=baixa-mar; PM=preamar.



Fonte: Gislayne Cristina Palmeira Borges.

Tabela 2 – Variação da riqueza de espécies e da clorofila *a* em 2011 (antes da dragagem) e 2012 (durante e depois da dragagem) no estuário do Beberibe (Brasil).

Período	Mês	Maré	Clorofila <i>a</i>	Riqueza de espécies	
Antes da dragagem (2011)	Junho	BM	1.20	30	
		PM	5.92	25	
	PC	Julho	BM	13.41	21
			PM	8.28	9
	Agosto	BM	60.77	15	
		PM	12.85	22	
	PE	Outubro	BM	3.93	31
			PM	28.33	29
		Novembro	BM	5.61	18
			PM	12.65	9
Dezembro		BM	7.65	25	
		PM	22.88	16	
Durante a dragagem (2012)	Junho	BM	71.37	28	
		PM	115.87	21	
	PC	Julho	BM	5.15	7
			PM	0.65	25
	Agosto	BM	24.6	26	
		PM	0.69	23	
Depois da dragagem (2012)	Outubro	BM	2.56	14	
		PM	5.96	21	
	PE	Novembro	BM	14.3	10
			PM	11.82	12
	Dezembro	BM	16.36	10	
		PM	7.79	13	

Fonte: Gislayne Cristina Palmeira Borges.

4.3 Alterações na abundância e composição do fitoplâncton

Foram identificadas 104 espécies, distribuídas nos filos Ochrophyta (59,62%), Dinophyta (12,50%), Cyanobacteria (11,54%), Chlorophyta (10,58%), Euglenophyta (3,85%) e Charophyta (1,92%).

A riqueza de espécies antes da dragagem variou de 9 a 30 (período chuvoso) e de 9 a 31 (período de estiagem), durante a dragagem variou de 7 a 28 (período chuvoso) e depois da dragagem de 10 a 21 (período de estiagem) (Tab. 2).

A figura 4 mostra a contribuição dos filos do fitoplâncton (Ochrophyta, Dinophyta, Cyanobacteria, Chlorophyta, Euglenophyta e Charophyta) para a riqueza de espécies, antes (período chuvoso e de estiagem/2011), durante (período chuvoso/2012) e depois da dragagem (período de estiagem/2012).

As contribuições dos filos durante os períodos estudados apresentaram modificações antes, durante e depois da dragagem. As diatomáceas constituíram o principal grupo apresentando uma crescente contribuição durante o período estudado, atingindo o máximo depois da dragagem (80%), enquanto as cianobactérias apresentaram uma diminuição na

abundância durante o período de estiagem (antes e depois da dragagem). Os dinoflagelados foram mais significativos durante o período de estiagem (antes e depois da dragagem), as euglenófitas apresentaram uma baixa abundância durante o período de estudo, enquanto as carófitas ficaram restritas ao período antes da dragagem (Fig. 4).

De acordo com os dados ecológicos, as espécies planctônicas (73,26%) foram mais expressivas, distribuídas em marinhas oceânicas (24,42%) e neríticas (22,09%), seguidas das dulciaquícolas (26,74%). Dentre as espécies ticoplanctônicas (26,74%), maior representação foi das marinhas neríticas (20,93%), seguidas das estuarinas (4,65%) e dulciaquícolas (1,16%).

As espécies muito frequentes durante o período de estudo estão descritas na tabela 3.

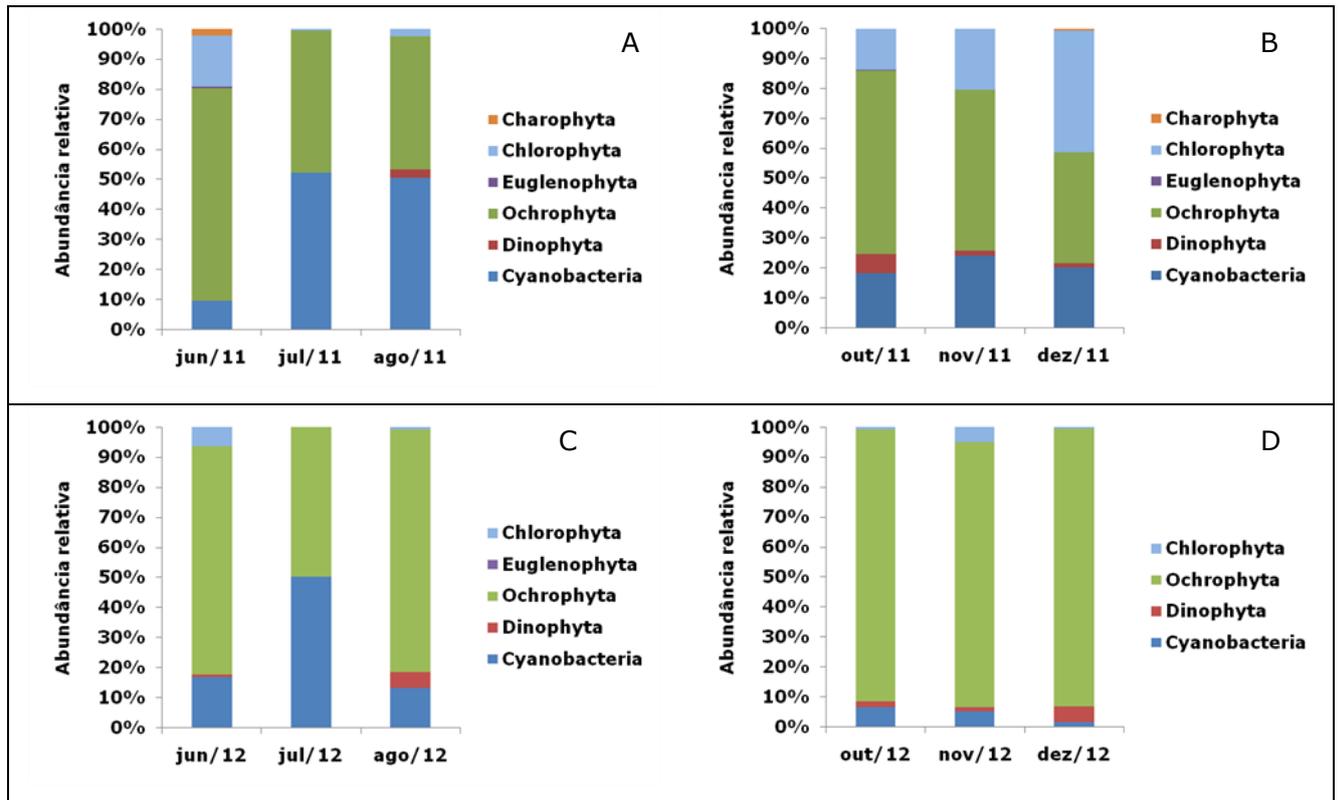
Tabela 3: Espécies Muito Frequentes identificadas em 2011 (antes da dragagem) e em 2012 (durante e depois da dragagem) no estuário do rio Beberibe (Brasil).

Período		Espécies Muito Frequentes
Antes da dragagem	Chuvoso	Cianobactéria: <i>Oscillatoria</i> sp. Cianobactérias: <i>Oscillatoria</i> sp. e <i>Planktothrix agardhii</i> Dinoflagelados: <i>Protoperidinium cassum</i> e <i>Protoperidinium</i> sp.
	Estiagem	Diatomáceas: <i>Bellerochea malleus</i> , <i>Coscinodiscus</i> sp., <i>Helicotheca tamesis</i> , <i>Nitzschia longissima</i> , <i>Thalassiosira</i> sp. Clorofíceas: <i>Pediastrum duplex</i> e <i>Scenedesmus quadricauda</i> Cianobactérias: <i>Oscillatoria princeps</i> , <i>Oscillatoria</i> sp.
Durante a dragagem	Chuvoso	Diatomáceas: <i>Helicotheca tamesis</i> e <i>Navicula</i> sp. Cianobactéria: <i>Oscillatoria</i> sp.
Depois da dragagem	Estiagem	Dinoflagelado: <i>Protoperidinium</i> sp. Diatomáceas: <i>Bellerochea malleus</i> e <i>Helicotheca tamesis</i>

Fonte: Gislayne Cristina Palmeira Borges.

A comunidade fitoplanctônica no estuário do rio Beberibe apresentou uma diversidade específica elevada ($>2,5$ bits.cél⁻¹) em mais de 75% das amostras durante o período estudado. Os menores valores de diversidade específica coincidiram com a dominância de *Planktothrix agardhii* antes da dragagem (período chuvoso) com 84,62% de abundância relativa nas preamares de julho/11 e agosto/11 com 55,16%, e de *Bellerochea malleus* depois da dragagem (período de estiagem) com 63,21% na baixa-mar de dezembro/12 e 57,14% na preamar de dezembro/12 (Fig. 5).

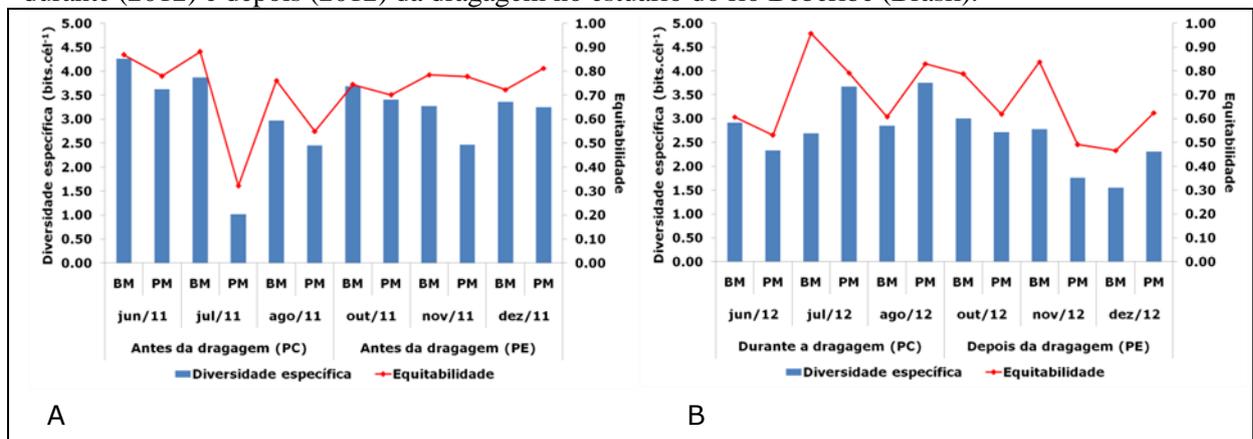
Figura 4 – Contribuição dos filos do fitoplâncton (A e B) antes da dragagem (2011), (C) durante a dragagem (2012) e (D) depois da dragagem (2012) no estuário do rio Beberibe (Brasil).



Fonte: Gislayne Cristina Palmeira Borges.

De maneira geral, os valores de equitabilidade foram maiores do que 0,5, evidenciando a distribuição equitativa das espécies no estuário do rio Beberibe (Fig. 5).

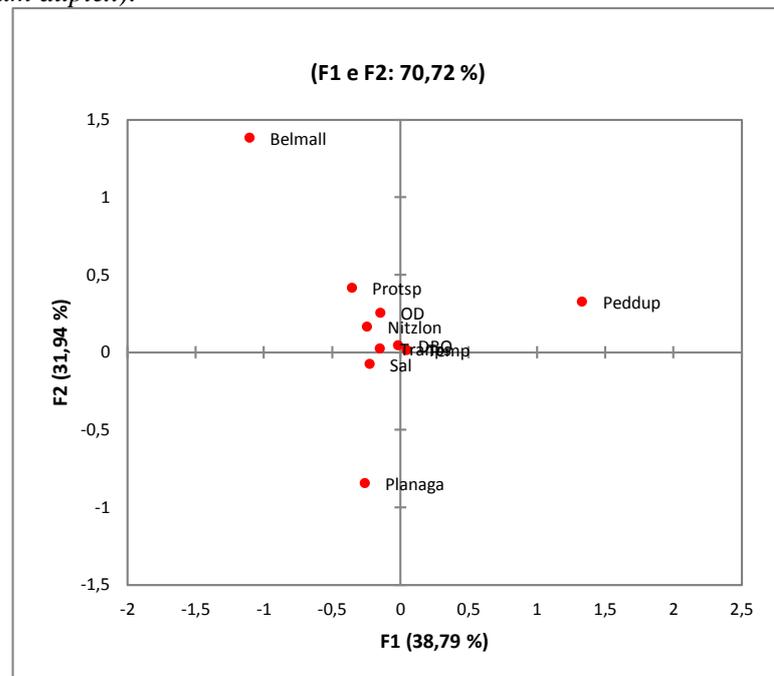
Figura 5 – Variação da diversidade específica (bits.cél^{-1}) e equitabilidade (A) antes (2011), (B) durante (2012) e depois (2012) da dragagem no estuário do rio Beberibe (Brasil).



Fonte: Gislayne Cristina Palmeira Borges.

De acordo com a Análise de Correspondência Canônica (ACC), as espécies muito frequentes (*Protoperidinium* sp., *Nitzschia longissima*, *Pediastrum duplex*) e dominantes (*Planktothrix agardhii* e *Bellerochea malleus*) do fitoplâncton foram linearmente correlacionadas com os parâmetros abióticos (temperatura da água, transparência da água, salinidade, oxigênio dissolvido e DBO₅). Para o primeiro ano (2011), no eixo F1, a diatomácea *Bellerochea malleus* e o dinoflagelado *Protoperidinium* sp. foram diretamente correlacionados com a transparência da água, o oxigênio dissolvido e a salinidade. Essas espécies são tipicamente marinhas neríticas, indicando sua relação com a chegada de água marinha na preamar, mostrando a ciclagem/renovação que contribuiu para uma melhor qualidade da água. O eixo F2 correlacionou inversamente a cianobactéria *Planktothrix agardhii* com a transparência da água e o oxigênio dissolvido, enquanto foi diretamente correlacionada com a salinidade, demonstrando ser uma espécie que apesar de ser característica de água doce, pode tolerar as variações de salinidade ocorridas no estuário do rio Beberibe (Fig. 6 e Tab. 4).

Figura 6 – Análise de Correspondência Canônica (ACC) das variáveis abióticas e espécies de maior contribuição para comunidade do estuário do rio Beberibe (Brasil) no ano de 2011 (antes da dragagem). Siglas: Temp (temperatura da água), Transp (transparência da água), Sal (salinidade), OD (oxigênio dissolvido), DBO₅ (Demanda Bioquímica do Oxigênio), Belmall (*Bellerochea malleus*), Planaga (*Planktothrix agardhii*), Protosp (*Protoperidinium* sp.), Nitzlon (*Nitzschia longissima*) e Peddup (*Pediastrum duplex*).



Fonte: Gislayne Cristina Palmeira Borges.

Tabela 4 – Contribuição das variáveis abióticas e bióticas aos dois primeiros componentes principais (com seus percentuais de explicabilidade) obtidas no estuário do rio Beberibe (Brasil), antes da dragagem (2011).

Parâmetros e Táxons		F1 (38,79%)	F2 (31,94%)
Temp	Temperatura da água	0,047	0,012
Transp	Transparência da água	-0,150	0,021
OD	Oxigênio dissolvido	-0,145	0,252
Sal	Salinidade	-0,224	-0,078
DBO ₅	Demanda bioquímica do oxigênio	-0,016	0,043
Belmall	<i>Bellerochea malleus</i>	-1,103	1,383
Planaga	<i>Planktothrix agardhii</i>	-0,260	-0,847
Protsp	<i>Protopteridinium</i> sp.	-0,354	0,414
Nitzlon	<i>Nitzschia longissima</i>	-0,242	0,162
Peddup	<i>Pediastrum duplex</i>	1,333	0,326

Fonte: Gislayne Cristina Palmeira Borges.

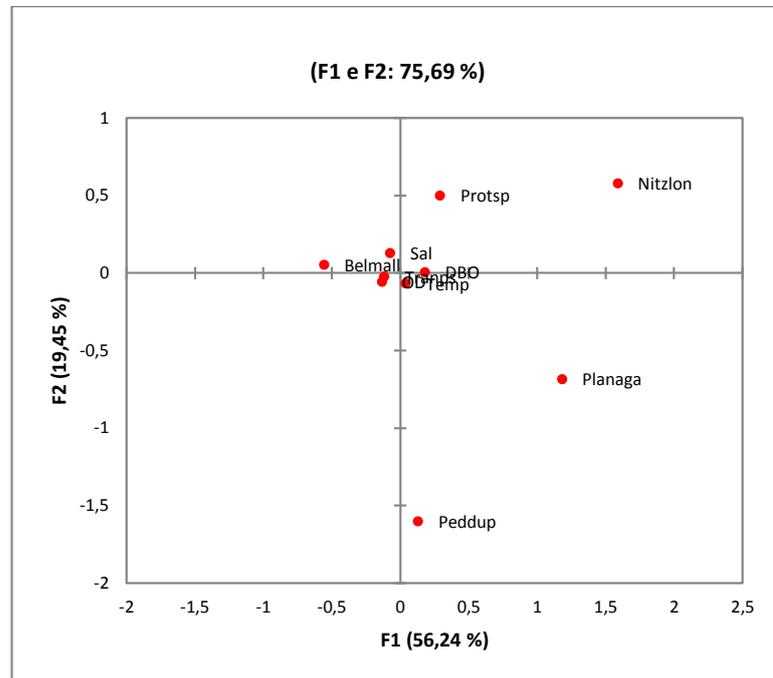
Para o segundo ano de estudo (2012), no eixo F1 projetaram-se positivamente a cianobactéria *Planktothrix agardhii* e a clorofícea *Pediastrum duplex* demonstrando a influência da baixa-mar com a diminuição da salinidade e da transparência da água. A cianobactéria *P. agardhii* é encontrada em ambientes de águas trucas e com elevada deficiência de luz. No eixo F2 projetaram-se positivamente *Protopteridinium* sp. e *Nitzschia longissima* e estiveram correlacionados à influência da preamar durante o ano de 2012 (Fig. 7 e Tab. 5).

Tabela 5 – Contribuição das variáveis abióticas e bióticas aos dois primeiros componentes principais (com seus percentuais de explicabilidade) obtidas no estuário do rio Beberibe (Brasil), depois da dragagem (2012).

Parâmetros e Táxons		F1 (56,24%)	F2 (19,45%)
Temp	Temperatura da água	0,040	-0,068
Tranps	Transparência da água	-0,116	-0,022
OD	Oxigênio dissolvido	-0,132	-0,056
Sal	Salinidade	-0,071	0,129
DBO	Demanda bioquímica do oxigênio	0,180	0,006
Belmall	<i>Bellerochea malleus</i>	-0,556	0,054
Planaga	<i>Planktothrix agardhii</i>	1,183	-0,684
Protsp	<i>Protopteridinium</i> sp.	0,291	0,500
Nitzlon	<i>Nitzschia longissima</i>	1,590	0,578
Peddup	<i>Pediastrum duplex</i>	0,130	-1,602

Fonte: Gislayne Cristina Palmeira Borges.

Figura 7 - Análise de Correspondência Canônica (ACC) das variáveis abióticas e espécies de maior contribuição para comunidade do estuário do rio Beberibe em 2012 (depois da dragagem). Siglas: Temp (temperatura da água), Transp (transparência da água), Sal (salinidade), OD (oxigênio dissolvido), DBO₅ (Demanda Bioquímica do Oxigênio), Belmall (*Bellerochea malleus*), Planaga (*Planktothrix agardhii*) e Protsp (*Protopeiridium* sp.), Nitzlon (*Nitzschia longissima*), Peddup (*Pediastrum duplex*).



Fonte: Gislayne Cristina Palmeira Borges.

5 Discussão

O processo de dragagem envolve diversos tipos de perturbações físicas, químicas e biológicas, como o aumento da turbidez, do material particulado em suspensão e dos nutrientes, diminuição da concentração de oxigênio dissolvido, destruição de habitats e aumento na ocorrência de espécies tolerantes (CABRITA, 2014).

O aumento da transparência da água e da salinidade depois da dragagem evidencia a maior influência da preamar na área estudada. Essa mudança foi observada também na composição do fitoplâncton com a dominância da diatomácea *Bellerochea malleus*, que é uma espécie planctônica de origem marinha. A ação da dragagem pode ter ocasionado o alargamento e o aprofundamento da calha no estuário do rio Beberibe e como consequência ocorreu uma entrada de preamar mais expressiva.

As variações nas concentrações de clorofila *a* foram maiores durante o período chuvoso nos dois anos estudados, demonstrando um padrão sazonal característico e não diretamente relacionado à ação da dragagem. Esse padrão também foi relatado para o estuário do rio

Timbó (GREGO et al., 2004) e o estuário do rio Sirinhaém (HONORATO DA SILVA et al., 2009). A correlação entre a clorofila *a* antes, durante e depois da dragagem não apresentou diferença significativa, evidenciando que a dragagem não influenciou a variabilidade da biomassa do fitoplâncton. Fato semelhante foi registrado por Forte Neto et al. (2014) no Porto de Aratu, onde também não foram registradas diferenças na distribuição da biomassa do fitoplâncton durante o período de dragagem.

As relações do ambiente aquático com as modificações na composição do fitoplâncton e a ação da dragagem têm sido relatadas em diversas pesquisas (NAYAR et al., 2004; CABRITA, 2014; OLIVEIRA et al., 2014), além das mudanças nos parâmetros estruturais e alterações na tolerância das espécies para a poluição orgânica e eutrofização (LICURSI e GÓMEZ, 2009).

No estuário do rio Beberibe, a contribuição das diatomáceas para a riqueza de espécies foi aumentando progressivamente, com maiores valores no período depois da dragagem. Um fator que pode estar relacionado a essa contribuição das diatomáceas, é que são organismos mais tolerantes a modificações físicas, como o processo de dragagem Licursi e Gómez (op. cit.).

As alterações causadas pela dragagem não aumentaram a contribuição das espécies ticoplanctônicas, pois são espécies que têm a capacidade de viver aderida ao substrato, habitam áreas rasas costeiras, bem iluminadas e aumentam suas densidades quando ressuspendidas do sedimento em função das correntes, marés e turbulência (SILVA-CUNHA, 2001).

A permanência de espécies planctônicas em maior número do que as espécies ticoplanctônicas pode indicar uma estabilidade ambiental no estuário do rio Beberibe, com a ocorrência de espécies bem adaptadas a ambientes poluídos, não ocorrendo modificações estruturais significantes. Diferente do observado por Cabrita (2014) onde ocorreu um aumento das espécies bentônicas relacionado ao aumento nas concentrações de material particulado em suspensão.

As espécies planctônicas contribuíram para uma diversidade específica elevada e em algumas situações apresentaram valores elevados de abundância relativa no estuário estudado, destacando-se a contribuição da cianobactéria *Planktothrix agardhii* no período chuvoso e da diatomácea *Bellerochea malleus* no período de estiagem.

A Análise de Correspondência Canônica demonstrou que não houve separação entre os períodos antes e depois da dragagem em relação aos parâmetros abióticos e as espécies do fitoplâncton. Essa ausência de relação entre os períodos antes e depois da dragagem evidencia

que as espécies estão adaptadas com as condições de eutrofização que apresenta o estuário do rio Beberibe.

A diversidade específica foi elevada antes e depois da dragagem, evidenciando que a comunidade fitoplanctônica não foi modificada pelos efeitos da dragagem. Isso pode ser consequência do curto período de dragagem, que não foi suficiente para ocasionar mudanças significativas na qualidade da água, bem como na composição da comunidade fitoplanctônica no estuário do rio Beberibe quando comparado com outros ambientes estuarinos que foram dragados.

Não houve diferenças significativas antes, durante e depois da dragagem, evidenciam que as mudanças que ocorreram na comunidade fitoplanctônica não foram relacionadas ao período de dragagem e sim, às características sazonais da região.

6 Conclusão

O presente trabalho mostrou que a ressuspensão do sedimento não influenciou a biomassa e a estrutura da comunidade fitoplanctônica no estuário do rio Beberibe. A riqueza e a diversidade das espécies planctônicas foram semelhantes antes e durante o período de dragagem, evidenciando que o período de dragagem não causou modificações significativas, como o aumento da ocorrência das espécies picoplanctônicas. As diatomáceas *Bellerochea malleus* e *Nitzschia longissima*, o dinoflagelado *Protoberidinium* sp., a cianobactéria *Planktothrix agardhii* e a clorofícea *Pediastrum duplex* foram as espécies que caracterizaram o estuário do rio Beberibe.

Capítulo 3

Composição e estrutura do fitoplâncton em estuários tropicais impactados de Pernambuco, Brasil

Composição e estrutura do fitoplâncton em estuários tropicais impactados de Pernambuco, Brasil

Abstract. The aim of this study was to relate the temporal and spatial variation of phytoplankton to environmental parameters in degraded tropical estuaries (Pernambuco, Northeast Brazil). Phytoplankton samples and environmental parameters were collected at three stations in the estuaries of the Port Basin (P1), Beberibe (P2), and Capibaribe (P3) during the low and high tides. Eighty-six taxa were identified; diatoms were found to be the most diverse group with the highest cellular density values, followed by cyanobacteria. *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & J. C. Lewin, *Nitzschia longissima* (Brébisson) Ralfs, and *Planktothrix isoethrix* (Skuja) Komárek & Komárková were the dominant species in the studied area. Cell density values ranged from 46,667 cells·L⁻¹ to 723,333 cells·L⁻¹, biovolume from 0.17 mm³ L⁻¹ to 213.86 mm³ L⁻¹ and carbon biomass from 0.07 pgC L⁻¹ to 93.62 pgC L⁻¹ with the highest values recorded during the rainy season. In the estuaries studied with compromised water quality in the Northeast Brazil the precipitation and tidal action were the main factors controlling seasonal and spatial in phytoplankton cell density, affected the size and number of cells per liter.

Key words: biovolume, carbon biomass, diatoms, diversity, precipitation, seasonality

Resumo. O objetivo dessa pesquisa foi relacionar a variação espacial e sazonal do fitoplâncton com as variáveis ambientais em estuários tropicais degradados (Pernambuco, Nordeste do Brasil). As amostras para o fitoplâncton e parâmetros ambientais foram coletadas em três estações na baía Portuária do Recife (P1), estuário do rio Beberibe (P2), e estuário do rio Capibaribe (P3) na baixa-mar e preamar. Foram identificados 86 táxons; as diatomáceas foram o grupo mais diverso com elevadas densidades celulares, seguidas das cianobactérias. *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & J. C. Lewin, *Nitzschia longissima* (Brébisson) Ralfs, e *Planktothrix isoethrix* (Skuja) Komárek & Komárková foram as espécies dominantes na área estudada. Os valores de densidade celular variaram de 46,667 Cél.L⁻¹ a 723,333 Cél.L⁻¹, o biovolume de 0.17 mm³ L⁻¹ a 213.86 mm³ L⁻¹ e a biomassa em carbono de 0.07 pgC L⁻¹ a 93.62 pgC L⁻¹ com maiores valores registrados durante o período chuvoso. Nos estuários estudados com qualidade de água comprometida no nordeste do Brasil a precipitação pluviométrica e a ação das mares foram os principais fatores controladores

sazonais e espaciais na densidade celular do fitoplâncton, afetando o tamanho e o número de células por litro.

Palavras-chave: biovolume, biomassa em carbono, diatomáceas, diversidade, precipitação, sazonalidade

1 Introdução

O sistema estuarino do Recife (Pernambuco) é formado pelos estuários dos rios Capibaribe, Beberibe e Tejiipió. Este sistema se destaca por sua importância histórica (formação da cidade do Recife) e socioeconômica (pesca de subsistência). É altamente poluído, com elevados valores de nutrientes dissolvidos (FLORES-MONTES et al., 2011; NORIEGA et al., 2013a; TRAVASSOS et al., 1991/93), a presença de bactérias termotolerantes e coliformes, e baixas concentrações de oxigênio dissolvido, que não estão de acordo com a legislação ambiental brasileira (Resolução do CONAMA 357/05). Além disso, os estuários incluídos nesse sistema apresentam alta biomassa fitoplanctônica (KOENING et al., 1995; SANTIAGO et al., 2010).

O fitoplâncton responde rapidamente as mudanças ambientais que ocorrem em estuários e por isso são utilizados como indicadores da qualidade da água. A resposta do fitoplâncton para as mudanças ambientais, naturais ou antropogênicas, podem levar a perda de biodiversidade, aumento na biomassa, aparecimento de espécies oportunistas ou tóxicas e mudanças na tolerância, abundância e dominância das espécies (MOSER et al., 2012).

Para os estuários brasileiros, as pesquisas têm sido focadas na composição, densidade e biomassa fitoplanctônica (AQUINO et al., 2015; LELES et al., 2014; SANTIAGO et al., 2010; VILHENA et al., 2014). Poucos estudos têm relatado o biovolume celular e a biomassa em carbono, e esses são concentrados nas regiões Sul (BERGESCH e ODEBRECHT, 1995; BERGESCH e ODEBRECHT, 1997; TORGAN et al., 1998) e Sudeste (COSTA et al., 2009; SANTOS et al., 2007), ocorrendo uma lacuna de estudos sobre o biovolume em estuários do Nordeste. O biovolume pode ser usado como uma ferramenta auxiliar que complementa as pesquisas existentes sobre o fitoplâncton, além disso, as medições do biovolume algal e a relação conhecida entre nutrientes e concentrações de clorofila *a*, são indicadores úteis de estressores antropogênicos como excesso de fósforo ou eutrofização cultural (REAVIE et al., 2010).

Portanto, o objetivo deste estudo foi relacionar a variação espacial, entre marés e sazonal da composição fitoplanctônica, biovolume celular e biomassa em carbono aos parâmetros abióticos em estuários tropicais degradados (Pernambuco, Brasil).

2 Material e Métodos

2.1 Área de estudo

A região altamente urbanizada do Recife tem, de acordo com a classificação de Köppen, clima A (tropical), com uma temperatura média do ar de 26°C e precipitação variando de 1760 a 2270 mm por ano (ARAGÃO, 2004). A Bacia Portuária do Recife é formada pela confluência dos rios Capibaribe, Tejipió, Jequiá, Jordão, Beberibe e Bacia do Pina. Eles formam um estuário conjunto e deságuam no Oceano Atlântico (CPRH, 2012; SANTIAGO et al., 2010). Os rios Capibaribe, Beberibe, Tejipió e a Bacia Portuária compreendem um sistema estuarino no Recife que sofre forte influência antropogênica, através da ocupação desordenada das margens e pelo despejo de resíduos sólidos e líquidos domésticos e industriais nos rios (SANTIAGO et al., 2010).

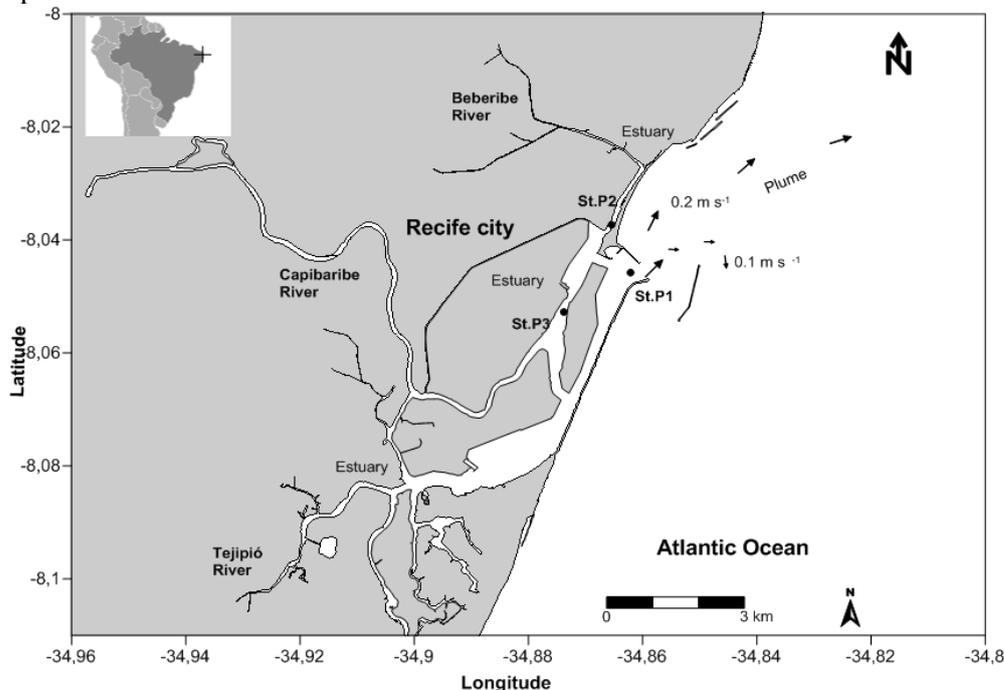
2.2 Composição da comunidade fitoplanctônica

Foram coletadas 36 amostras para a análise do fitoplâncton utilizando uma garrafa oceanográfica Kitahara. As coletas foram realizadas em 2011 durante o período chuvoso (junho, julho e agosto) e no período de estiagem (outubro, novembro e dezembro), na baixa-mar e preamar na maré de sizígia. As amostragens foram realizadas na superfície da água, em três pontos: Bacia Portuária do Recife (P1, latitudes 8° 02' 50" e 8° 04' 12" S, e longitudes 35° 57' 20" e 35° 58' 20" W), o estuário do rio Beberibe (P2, latitudes 7° 59' e 8° 02' S, e longitudes 34° 52' e 35° 00' W), e o estuário do rio Capibaribe (P3 latitudes 7° 54' e 8° 19' S, e longitudes 34° 54' e 36° 42' W, Fig. 1). Imediatamente após a coleta, as amostras foram preservadas com Lugol 2%.

As amostras foram analisadas no laboratório do Fitoplâncton da UFPE utilizando um microscópio invertido (Zeiss, AXIOVERT), de acordo com o método de Utermöhl (1958). A densidade foi expressa em Cél.L⁻¹ baseada no número de células independentemente se as espécies formam cadeias ou colônias. A identificação dos táxons foi feita através de bibliografia especializada (BALECH, 1988; CHRETIÉNNOT-DINNET et al., 1990; CUPP, 1943; PERÁGALLO e PERÁGALLO 1897-1908; PRESCOTT, 1978; TOMAS, 1997; WOOD, 1968) e a classificação taxonômica foi baseada em Guiry e Guiry (2013). A abundância de cada táxon foi calculada de acordo com Lobo e Leighton (1986), utilizando os

seguintes critérios: espécies dominantes foram as que tiveram ocorrência maior do que 50% do total de células, espécies abundantes foram as que apresentaram uma ocorrência superior ao valor médio, e espécies raras foram as que tiveram uma ocorrência menor do que o valor médio do total de amostras.

Figura 1: Localização dos pontos de coleta nos estuários urbanos de Pernambuco (Nordeste do Brasil). Nota: St.P1=bacia portuária do Recife; ST.P2=estuário do rio Beberibe; St.P3=estuário do rio Capibaribe.



Fonte: Carlos Delgado Noriega.

A frequência de ocorrência foi baseada no número de amostras nas quais cada táxon ocorreu, em relação ao número total de amostras analisadas, seguindo os critérios: muito frequente ($\geq 70\%$), frequente ($40\% \geq F \leq 70\%$), pouco frequente ($10\% \geq F \leq 40\%$), e esporádica ($< 10\%$). Além disso, foi analisada em cada amostra a diversidade específica de acordo com Shannon (1948) e a equitabilidade de acordo com Pielou (1967) e a riqueza de espécies.

O cálculo do biovolume total (mm^3L^{-1}) foi baseado na metodologia que utiliza as formas geométricas (HILLEBRAND et al., 1999; SUN e LIU, 2003; VADRUCCI et al., 2007), onde foram medidos 20 indivíduos dos táxons considerados dominantes e muito frequentes. Para as medições a cada indivíduo foi atribuído uma forma geométrica, assemelhando sua forma real e em seguida foi criado um protocolo adaptado baseado nos

trabalhos de Sun e Liu (2003) e Vadrucci et al. (2007). A biomassa em carbono foi convertida através das medidas obtidas do biovolume celular utilizando a metodologia descrita por Menden-Deuer e Lessard (2000).

2.3 Parâmetros abióticos

Para os parâmetros abióticos, 36 amostras foram coletadas com uma garrafa oceanográfica Kitahara na superfície da água, concomitantemente com as amostras de fitoplâncton, e analisadas no Laboratório de Oceanografia Química da UFPE. Parâmetros como temperatura e transparência da água foram determinadas *in situ* com o auxílio de um termômetro e um disco de Secchi, respectivamente.

A salinidade e o oxigênio dissolvido foram determinados utilizando os métodos de Morh-Knudsen e Winkler, respectivamente, como descrito por Strickland e Parsons (1972). Os nutrientes dissolvidos (nitrato e fosfato) foram determinados de acordo com Strickland e Parsons (1972), e a amônia e o silicato de acordo com Grasshoff et al., (1983).

2.4 Análise estatística

Diferenças significativas entre os pontos (P1, P2, P3) foram determinadas com o teste de Kruskal-Wallis, e as diferenças entre os períodos sazonais (chuvoso e de estiagem) e marés (baixa-mar e preamar) foram determinadas com o teste de Mann Whitney; o nível de significância para ambos os testes foi $p < 0,05$.

A relação entre os parâmetros abióticos (temperatura, transparência da água, oxigênio dissolvido, salinidade, fosfato, nitrato, amônia e silicato) e as espécies com maiores valores de densidade (a cianobactéria *Planktothrix isoethrix* (Skuja) Komárek & Komárková, a diatomácea *Nitzschia longissima* (Brébisson) Ralfs e o dinoflagelado *Protoperidinium* sp.) foram testados com a Análise de Correspondência Canônica (ACC) utilizando o programa Xlstat 2010.

3 Resultados

3.1 Parâmetros abióticos

A precipitação pluviométrica variou de 34,6 mm (outubro de 2011) a 444,4 mm (julho de 2011). Sazonalmente, a temperatura da água, a transparência da água, o oxigênio dissolvido, a salinidade, o fosfato e o silicato apresentaram valores médios mais elevados durante o período de estiagem ($p < 0,05$). Por outro lado, as concentrações médias de nitrato e amônia foram mais expressivas no período chuvoso ($p < 0,05$) (Tabela 1).

Espacialmente, a transparência da água e a salinidade foram mais elevadas no P1 (bacia Portuária), os nutrientes foram mais elevados no P2 (estuário do rio Beberibe) e o oxigênio dissolvido e a temperatura da água foram mais expressivos no P3 (estuário do rio Capibaribe).

Em relação aos períodos de maré, foram mais expressivos na baixa-mar o fosfato, o silicato e a amônia ($p < 0,05$), enquanto na preamar foram a temperatura da água, a transparência da água, o oxigênio dissolvido, a salinidade e o nitrato ($p < 0,05$).

Tabela 1: Variação sazonal e espacial dos parâmetros abióticos nos estuários urbanos de Pernambuco (Nordeste do Brasil). Nota: PC=período chuvoso; PE=período de estiagem.

Parâmetros	Bacia Portuária		Rio Beberibe		Rio Capibaribe	
	PC	PE	PC	PE	PC	PE
Temperatura (°C)	24,92±0,92	26,67±0,44	24,42±1,08	27,17±0,56	24,83±0,83	27,50±0,50
Transparência da água (m)	0,75±0,33	1,20±0,37	0,37±0,25	0,61±0,21	0,58±0,30	0,59±0,11
Oxigênio dissolvido (mL.L ⁻¹)	2,80±0,68	3,60±1,09	1,36±1,36	2,71±2,71	2,65±1,27	4,90±1,70
Salinidade	13,60±6,65	27,15±3,54	12,88±11,66	20,23±10,01	10,61±10,50	15,87±6,98
Fosfato (μmol.L ⁻¹)	4,00±1,53	3,80±2,21	7,00±2,41	7,96±7,81	5,18±1,74	3,24±1,41
Silicato (μmol.L ⁻¹)	33,55±17,91	23,43±26,77	25,06±3,73	38,74±24,92	34,35±15,64	28,46±35,29
Nitrato (μmol.L ⁻¹)	10,61±5,75	6,02±3,79	14,46±12,61	6,02±5,70	8,43±4,55	6,27±1,92
Amônia (μmol.L ⁻¹)	3,36±1,41	4,51±3,08	10,40±4,09	7,82±6,43	5,76±1,83	4,04±1,71

Fonte: Gislayne Cristina Palmeira Borges.

3.2 Composição da comunidade fitoplanctônica

No total, 86 táxons foram identificados nos estuários estudados. O número de espécies variou de 7 na Bacia Portuária na preamar (novembro/2011) a 25 no estuário do rio Capibaribe na baixa-mar (outubro/2011). A presença de espécies marinhas como *Prorocentrum micans* Ehrenberg, *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & J.C. Lewin, *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve, e *Rhizosolenia setigera* Brightwell foi observada, juntamente com espécies de água doce como *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju, *Planktothrix isothrix* (Skuja) Komárek & Komárková, *Actinastrum hantzschii* Lagerheim e *Elakatothrix gelatinosa* Wille, e espécies estuarinas como *Gyrosigma balticum* (Ehrenberg) Rabenhorst. Foram incluídas nessa listagem, espécies tóxicas ou potencialmente tóxicas como *Anabaena spiroides* Klebahn, *C. raciborskii*, *P. isothrix*,

Pyrophacus horologium Stein, bem como espécies potencialmente nocivas e não tóxicas como *Coscinodiscus centralis* Ehrenberg, *C. closterium*, e *Leptocylindrus danicus* Cleve.

A densidade celular variou de 46.667 Cél.L⁻¹ em novembro/2011 (P2 e preamar) a 723.333 Cél.L⁻¹ em outubro/2011 (P3 e baixa-mar) com maiores densidades ocorrendo durante o período chuvoso ($p < 0,05$).

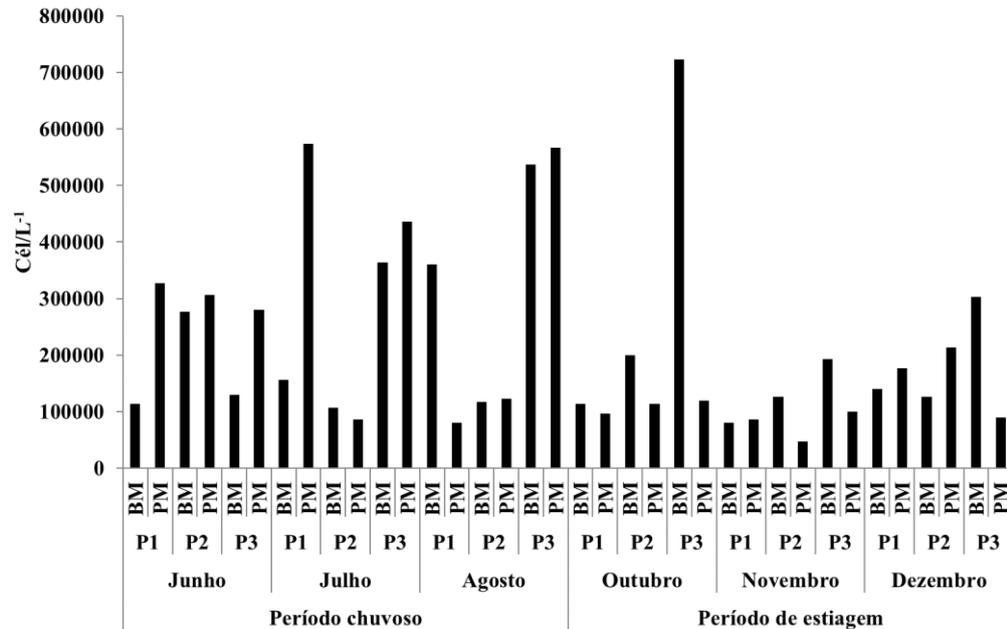
No período chuvoso, três picos de densidade foram observados. O primeiro foi na Bacia Portuária (P1), durante a preamar de julho/2011, onde a densidade celular de 573.333 Cél.L⁻¹ foi registrada. A maioria das células (90,7%) foi de cianobactérias, das quais *P. isothrix* foi a mais representativa (113.333 Cél.L⁻¹), correspondendo a 77,9% do total. Os outros dois picos ocorreram no estuário do rio Capibaribe (P3) em agosto/2011, onde as densidades de 536.667 Cél.L⁻¹ (baixa-mar) e 566.667 Cél.L⁻¹ (preamar) foram registradas. O primeiro pico foi dominado por espécies de cianobactérias (51,6%), das quais *P. isothrix* foi a mais representativa (46.667 Cél.L⁻¹), correspondendo a 33,5% do total de células. O outro pico foi dominado pelas diatomáceas (74,1%) no qual a espécie *N. longissima* foi a mais representativa (83.333 Cél.L⁻¹), correspondendo a 45,9% do total de células (Fig. 2).

No período de estiagem, o pico de 723.333 Cél.L⁻¹ foi registrado no estuário do rio Capibaribe durante a baixa-mar de outubro/2011. As diatomáceas foram as mais representativas, contribuindo com 39,6%, das quais *N. longissima* foi a mais abundante (126.667 Cél.L⁻¹), correspondendo a 17,5% do total de células (Fig. 2).

Três espécies foram consideradas dominantes, *P. isothrix* com 77,9% na preamar de julho (P1), *C. closterium* com 56,5% na preamar de junho/2011 (P2) e *N. longissima* com 57,1% e 51,0% nas preamares de junho e dezembro/2011.

Entre os táxons identificados, 65,1% foram considerados esporádicos, 22,1% pouco frequentes, 9,3% frequentes e 3,5% muito frequentes. A cianobactéria *P. isothrix* (83,3%) e as diatomáceas *Thalassiosira* sp. (75%) e *Coscinodiscus* sp. (86,1%) foram consideradas muito frequentes. As espécies frequentes incluíram as cianobactérias *C. raciborskii* (44,4%), *Oscillatoria* sp. (55,6%) e *Oscillatoria princeps* Vaucher ex Gomont (41,7%), o dinoflagelado *Protoperidinium* sp. (47,2%), e as diatomáceas *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen (55,6%), *Navicula* sp. (58,3%), *N. longissima* (69,4%) e *Nitzschia* sp. (61,1%).

Figura 2: Variação na densidade celular durante o período chuvoso e período de estiagem nos estuários urbanos de Pernambuco (Nordeste do Brasil). LT= baixa-mar, HT= preamar, June=Junho, July=Julho, August=Agosto, October=Outubro, November=Novembro, December=Dezembro, cells.L⁻¹=Cél.L⁻¹.



Fonte: Gislayne Cristina Palmeira Borges.

O biovolume celular total oscilou entre $0,17 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$ e $213,86 \text{ mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$, com elevados valores observados durante o período chuvoso, enquanto a biomassa em carbono variou de $0,07 \text{ pgC} \cdot \text{L}^{-1}$ a $93,62 \text{ pgC} \cdot \text{L}^{-1}$ (Tabela 2). Em relação à biomassa em carbono, *P. isothrix* foi a maior produtora nos estuários estudados, particularmente durante o período chuvoso. Outra cianobactéria, *Oscillatoria* sp., também contribuiu com a biomassa no período chuvoso, e coletivamente, essas duas espécies foram favorecidas por baixos níveis de salinidade e disponibilidade de nutrientes. No período de estiagem *Coscinodiscus* sp. foi o segundo maior contribuinte em termos de biomassa em carbono.

A diversidade específica variou de $2,66 \text{ bits} \cdot \text{cél}^{-1}$ na Bacia Portuária durante a preamar (novembro/2011) a $4,40 \text{ bits} \cdot \text{cél}^{-1}$ no estuário do rio Capibaribe durante a baixa-mar (outubro/2011). Os valores de equitabilidade variaram de 0,89 no estuário do rio Capibaribe na baixa-mar (novembro/2011) a 0,97 no estuário do rio Beberibe na baixa-mar (julho/2011), e nas preamares de outubro e dezembro/2011.

Tabela 2: Variação do biovolume ($\text{mm}^3.\text{L}^{-1}$) e biomassa em carbono ($\text{pgC}.\text{L}^{-1}$) das espécies descritoras do fitoplâncton em estuários urbanos de Pernambuco (Nordeste do Brasil).

Espécies	Biovolume celular total ($\text{mm}^3.\text{L}^{-1}$)		Biomassa em carbono ($\text{pgC}.\text{L}^{-1}$)	
	Min	Max	Min	Max
Cyanobacteria				
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	0,38	8,78	0,54	4,20
<i>Oscillatoria princeps</i>	0,55	9,94	0,62	4,71
<i>Oscillatoria</i> sp.	0,67	56,10	0,67	24,83
<i>Planktothrix isothrix</i>	1,30	213,86	0,94	93,62
Ochrophyta				
<i>Aulacoseira granulata</i>	0,41	7,33	0,35	2,34
<i>Coscinodiscus</i> sp.	3,61	117,73	1,27	34,14
<i>Cylindrotheca closterium</i>	0,17	10,17	0,07	1,89
<i>Navicula</i> sp.	0,36	8,83	0,13	1,69
<i>Nitzschia longissima</i>	21,24	199,06	3,43	21,08
<i>Nitzschia</i> sp.	3,13	10,26	0,73	1,90
<i>Thalassiosira</i> sp.	0,81	19,27	0,47	5,78
Dinophyta				
<i>Protoberidinium</i> sp.	1,07	35,01	0,23	6,09

Fonte: Gislayne Cristina Palmeira Borges.

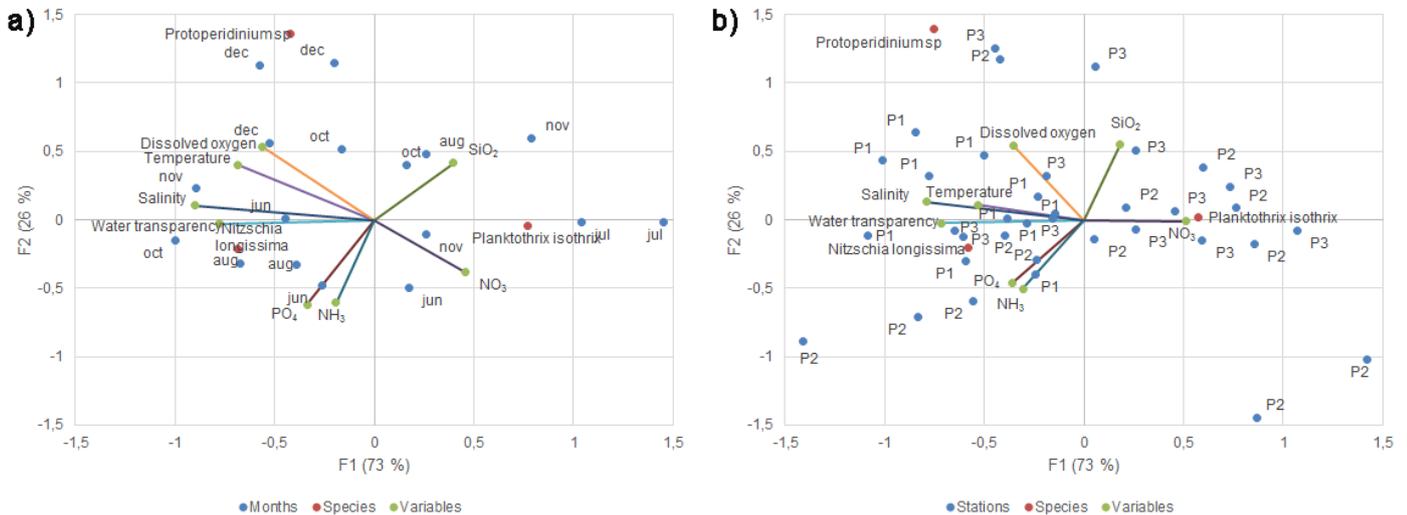
De acordo com a análise de correspondência canônica (ACC), as espécies representativas de cada grupo do fitoplâncton (*N. longissima*, *Protoberidinium* sp., e *P. isothrix*) foram linearmente correlacionadas com os parâmetros abióticos (ACC test, $F1=73\%$, $F2=26\%$, $p=0.226$; $\alpha=0.05$). O eigenvector da análise da ACC indicou que a maior parte da inércia foi realizada pelo primeiro eixo (Figura 3a e 3b) e a adição do segundo eixo foi responsável por 99,0% da inércia. Isto sugere que o mapa bidimensional da ACC foi suficiente para analisar a relação entre a estação, espécie e variável.

A cianobactéria *Planktothrix isothrix* foi mais abundante em julho/2011 onde ocorreu o período de maior precipitação e descarga dos rios adjacentes. A diatomácea *Nitzschia longissima* foi negativamente associada com agosto/2011 onde o final do período chuvoso ocorre ventos que excedem 5 m.s^{-1} (Noriega *et al.* 2013b). O dinoflagelado *Protoberidinium* sp. foi mais abundante durante o período de estiagem (dezembro/2011) (Figura 3a).

Planktothrix isothrix foi inversamente correlacionada com o eixo F1 (temperatura, transparência da água, oxigênio dissolvido e salinidade) e estes parâmetros exibiram uma associação com os meses do período de estiagem (outubro, novembro e dezembro/2011).

Protoperidinium sp. foi associado negativamente com o eixo F2 (PO_4 e NH_3). Essa espécie é tipicamente marinha e suas densidades elevadas foram observadas durante as preamaras (Figura 3a e Tabela 3).

Figura 3: Mapa da Análise de Correspondência Canônica das espécies do fitoplâncton, parâmetros abióticos, meses (a) e pontos de coleta (b). PO_4 = fosfato, SiO_2 = silicato, NO_3 = nitrato e NH_3 = amônia.



Fonte: Carlos Delgado Noriega.

Em relação à ACC espacial, o eixo F1 explicou 73% da variância total dos dados. Elevadas densidades de *P. isothrix* foram correlacionadas positivamente com baixas concentrações de NO_3 . Essa cianobactéria também mostrou uma clara associação com as estações próximas aos estuários dos rios Beberibe (P2) e Capibaribe (P3). Em oposição, elevadas densidades de *N. longissima* foram relacionadas negativamente à temperatura, transparência da água e salinidade nas estações Bacia Portuária (P1) e estuário do rio Capibaribe (P3) durante a preamar.

O eixo F2 explicou 26% da variância total dos dados. Elevadas densidades de *Protoperidinium* sp. nas estações do estuário do rio Beberibe (P2) e estuário do rio Capibaribe (P3) foram relacionadas positivamente com elevadas concentrações de oxigênio dissolvido no estuário do rio Capibaribe (P3) e SiO_2 no estuário do rio Beberibe (P2). Em contraste, eles foram relacionados negativamente com baixas concentrações de PO_4 e NH_3 .

Tabela 3: Coordenadas dos parâmetros e espécies dentro da análise espacial e sazonal da Análise de Correspondência Canônica. Os valores significantes dos parâmetros estão em negrito. PO₄ = fosfato, SiO₂ = silicato, NO₃ = nitrato e NH₃ = amônia.

Parâmetros e espécies	Sazonal		Espacial	
	F1	F2	F1	F2
Temperatura	-0.687	0.403	-0.534	0.111
Transparência da água	-0.778	-0.028	-0.719	-0.025
Oxigênio dissolvido	-0.565	0.535	-0.356	0.546
Salinidade	-0.900	0.103	-0.790	0.131
PO ₄	-0.336	-0.620	-0.357	-0.459
SiO ₂	0.398	0.418	0.183	0.555
NO ₃	0.458	-0.383	0.515	-0.010
NH ₃	-0.191	-0.604	-0.305	-0.502
<i>Planktothrix isoethrix</i>	0.773	-0.046	0.575	0.023
<i>Protoperdinium</i> sp.	-0.424	1.356	-0.755	1.394
<i>Nitzschia longissima</i>	-0.687	-0.208	-0.582	-0.204

Fonte: Carlos Delgado Noriega.

4 Discussão

Em estuários tropicais, a produtividade do fitoplâncton é frequentemente relacionada a variações sazonais na precipitação, ventos e correntes nas áreas costeiras (ESKINAZI-LEÇA et al., 2004). A precipitação causa modificações na descarga dos rios e, conseqüentemente, variações na salinidade, turbidez, disponibilidade de nutrientes, e, por conseguinte, na composição, biomassa e densidade do fitoplâncton (SANTIAGO et al., 2010).

Os 86 táxons identificados indicam que o sistema estuarino do Recife apresenta uma flora diversa, com a ocorrência de espécies marinhas (*P. micans*, *Coscinodiscus lineatus* Ehrenberg, *P. sulcata*), de água doce (*Chroococcus dispersus* (Keissler) Lemmermann, *A. hantzschii*, *Scenedesmus dimorphus* (Turpin) Kützing) e estuarina (*G. balticum*). Esse fato foi mencionado anteriormente em outros estuários impactados, como o estuário Golden Horn (TAS et al., 2009), e não impactados, como o estuário do rio dos Passos (AQUINO et al., 2015).

As diatomáceas foram particularmente importantes nos estuários estudados e contribuíram com elevadas densidades celulares e riqueza de espécies da comunidade fitoplanctônica, mostrando um padrão esperado para as áreas estudadas. Um padrão similar

foi observado em diversos estuários, incluindo o estuário do rio Tagus em Portugal (BROGUEIRA et al., 2007), o estuário Bahía Blanca na Argentina (POPOVICH e MARCOVECCHIO, 2008), a baía de Tamandaré no nordeste do Brasil (ROSEVEL-DASILVA et al., 2005), onde as características eurialinas das diatomáceas e as condições eutróficas dos estuários foram possíveis fatores responsáveis pela predominância deste grupo.

As cianobactérias foram o segundo maior grupo baseado na densidade celular nos estuários estudados. A ocorrência deste grupo tem sido observada no complexo estuarino-lagunar Mundaú e Manguaba (MELO-MAGALHÃES et al., 2009), e de acordo com os autores, a disponibilidade de nutrientes dissolvidos (nitrato, nitrito, amônia e fosfato) e baixa salinidade contribuíram para o desenvolvimento deste grupo.

Baseado nas concentrações de nutrientes e oxigênio dissolvido foi observado que a área estuarina estudada está degradada. De acordo com Paredes e Montecino (2011), mudanças na luminosidade e nutrientes dissolvidos, afetam o tamanho das células do fitoplâncton. Este crescimento é relacionado à disponibilidade de luminosidade, que pode estimular o desenvolvimento de diferentes grupos taxonômicos. De acordo com estudos prévios, os nutrientes dissolvidos têm influência na biomassa e composição taxonômica do fitoplâncton (SABETTA et al., 2005). Nos estuários estudados, o biovolume foi significativo para as diatomáceas *Coscinodiscus* sp. e *N. longissima* durante o período de estiagem e para a cianobactéria *P. isothrix* durante o período chuvoso, possivelmente porque células maiores são adaptadas a mudanças no ambiente e alcançam maiores taxas de crescimento do que as células menores em ecossistemas com elevada variabilidade de nutrientes.

De acordo com Sabetta et al. (2005) células maiores são características de áreas com elevadas concentrações de nutrientes dissolvidos. No sistema estuarino do Recife, as células de tamanho maior foram predominantes, provavelmente porque elas foram adaptadas a mudanças ambientais. No caso das espécies de menor tamanho e para aquelas células em estágios iniciais de desenvolvimento, o tamanho do biovolume celular foi menor quando comparado com o tamanho das células maiores. No entanto, essas células pequenas em tamanho, mas com altas densidades foram importantes para o aumento da biomassa em carbono local.

A maior contribuição em termos de biomassa em carbono foi de *P. isothrix* e *Oscillatoria* sp. durante o período chuvoso, porque ambas são espécies de água doce adaptadas a ambientes com elevada concentração de nutrientes dissolvidos. Gómez et al. (2004) explicou que cianobactérias filamentosas ou em cadeia são vantajosas para ambientes com altas concentrações de material em suspensão, pois elas possuem uma alta absorção de

luminosidade por causa da relação de sua área de superfície e volume. Durante o período de estiagem, as preamares forneceram melhor qualidade de água no sistema estuarino do Recife, resultando no aumento da biomassa de *Coscinodiscus* sp. Essa diatomácea foi o segundo maior contribuinte em termos de biomassa, e o período de estiagem com elevadas temperaturas, salinidade, oxigênio dissolvido e transparência da água favoreceram o seu crescimento.

O fitoplâncton apresentou valores de diversidade específica maiores do que 2,5 bits.cél⁻¹ nas áreas estudadas, mostrando uma heterogeneidade ambiental. Isto pode ser explicado pela combinação de fatores abióticos como disponibilidade de nutrientes e luminosidade que favoreceram o crescimento da comunidade fitoplanctônica. Ao contrário do que é esperado, a dominância das espécies *C. closterium*, *P. isothrix*, e *N. longissima* não levou a uma redução na diversidade específica dos estuários estudados.

Em conclusão, nossos resultados indicaram que o fitoplâncton foi diverso e seguiu padrões sazonais típicos de estuários tropicais com influência humana. A variação sazonal, particularmente durante o período chuvoso, levou a um aumento nos nutrientes dissolvidos, densidades celulares e biomassa em carbono com a presença das cianobactérias *P. isothrix* e *O. princeps*, as quais foram as maiores produtoras nos estuários estudados. Os três estuários estudados apresentam uma semelhança na composição das espécies do fitoplâncton, destacando-se o estuário do rio Capibaribe, o qual apresentou as maiores densidades celulares, riqueza de espécies e diversidade específica.

O biovolume e a densidade celular foram eficientes para avaliar as variações espaciais e sazonais, e para verificar se essa variabilidade foi dentro do intervalo para outros estuários. Este estudo também demonstrou que mudanças na diversidade específica, densidade celular, abundância relativa, biovolume celular, biomassa em carbono e composição do fitoplâncton em relação aos parâmetros abióticos foram dependentes da variação espacial e das condições climáticas.

Capítulo 4

Dinâmica das associações fitoplanctônicas em estuários tropicais (Nordeste, Brasil)

DINÂMICA DAS ASSOCIAÇÕES FITOPLANCTÔNICAS EM ESTUÁRIOS TROPICAIS (NORDESTE, BRASIL)

Abstract. The phytoplankton functional groups in tropical estuaries of Northeast of Brazil were analysed in relation to abiotic variables during the rainy season (June, July and August/2011) and dry season (October, November and December/2011). Were identified 17 phytoplankton groups, of which H₁, S₂, C and III, characterized the rainy season, while I, II and F characterized the dry season. The groups MP, S₁, S_N, VI, A, D, P and J were common to all three estuaries, as were unique H₁ and I (Port Basin), S₂, II and III (Beberibe River estuary) and C (Capibaribe River estuary). The rainfall and the tides influenced the abundance and distribution of functional groups in the studied áreas. It occurred the predominance of functional groups typically related to eutrophic, shallow and turbid aquatic environments.

Keywords: density, phytoplankton, functional groups, eutrophic estuaries, cyanobacteria, nutrients

Resumo. Os grupos funcionais fitoplanctônicos em estuários tropicais do Nordeste do Brasil foram analisados em relação às variáveis abióticas durante o período chuvoso (junho, julho e agosto/2011) e período de estiagem (outubro, novembro e dezembro/2011). Foram registrados 17 grupos fitoplanctônicos dos quais, H₁, S₂, C e III, caracterizaram o período chuvoso, enquanto I, II e F caracterizaram o período de estiagem. Os grupos MP, S₁, S_N, VI, A, D, P e J foram comuns aos três estuários, enquanto foram exclusivas os grupos H₁ e I (Bacia Portuária), S₂, II e III (estuário do rio Beberibe) e C (estuário do rio Capibaribe). A precipitação pluviométrica e as marés influenciaram a abundância e a distribuição dos grupos funcionais nas áreas estudadas. Ocorreu o predomínio de grupos funcionais tipicamente relacionados a ambientes eutróficos, rasos e de águas turvas.

Palavras-chave: densidade, fitoplâncton, grupos funcionais, estuários eutróficos, cianobactérias, nutrientes

1 Introdução

A dinâmica da comunidade fitoplanctônica e suas interações com os parâmetros ambientais são assuntos estudados em diversos ecossistemas aquáticos como lagoas costeiras (HUSZAR e SILVA, 1992), reservatórios (DANTAS et al., 2008; SILVA, 1999) e estuários (AQUINO et al., 2015; PINCKNEY et al., 1998).

A composição, biomassa e densidade do fitoplâncton são variáveis capazes de indicar alterações ambientais causadas por ação antrópica (GUENTHER et al., 2015; MOSER et al., 2012) e são utilizadas como ferramentas em programas de monitoramento ambiental (SEOANE et al., 2006). Essas variáveis são reguladas por diversos fatores ambientais incluindo disponibilidade de luz, concentração de nutrientes, transparência da água, precipitação pluviométrica e ação das marés ou por fatores biológicos como herbivoria e competição (COSTA et al., 2009; PAREDES e MONTECINO, 2011).

A variabilidade na composição e dinâmica do fitoplâncton, e a sua relação com os parâmetros ambientais têm sido mundialmente estudadas. Uma abordagem ecológica diferenciada foi proposta por Reynolds (1997), originalmente desenvolvida para lagos, na qual as espécies fitoplanctônicas são agrupadas em associações funcionais através das suas características morfológicas, fisiológicas, ecológicas e adaptativas e relacionadas com determinados parâmetros ambientais. Posteriormente, esses agrupamentos foram atualizados por Reynolds et al. (2002) e Padisák et al. (2009), e têm sido utilizados com maior frequência (ALVES-DE-SOUZA et al., 2006; COSTA et al., 2009; KRUK et al., 2002; MOSER et al., 2014) em diversos ecossistemas aquáticos.

Atualmente são descritas 41 associações funcionais (PADISÁK et al., 2009), nas quais são agrupadas as espécies que podem dominar ou co-dominar o ecossistema (COSTA et al., 2009). Essa metodologia pode ser aplicada para ambientes de água doce (reservatórios e lagos) como também para ambientes marinhos, uma vez que, Smayda e Reynolds (2001) afirmam que as espécies marinhas possuem as mesmas estratégias adaptativas que as espécies de água doce. Tem como vantagens a possibilidade de detectar padrões na distribuição e dinâmica das populações do fitoplâncton além de relacionar esses padrões com alterações causadas pela ação antrópica (SALMASO e PADISAK, 2007).

Há pouca informação sobre o uso de grupos funcionais em estuários e ecossistemas costeiros (SMAYDA e REYNOLDS, 2003). No Brasil, as pesquisas se concentram principalmente em ecossistemas de água doce, como lagos (BOVO-SCOMPARIN e TRAIN 2008; HUSZAR e REYNOLDS, 1997; MELO e HUSZAR, 2000), reservatórios (BECKER et al., 2009; BORGES et al., 2008; BOUVY et al., 2003; DANTAS et al., 2008; FONSECA e BICUDO, 2008; LOPES et al., 2005; MOURA et al., 2007), lagoas costeiras (ALVES-DE-SOUZA et al., 2006) e plataforma continental (MOSER et al., 2014), entretanto, para áreas estuarinas essa abordagem ainda é escassa (COSTA et al., 2009).

A utilização das associações fitoplanctônicas em estuários pode fornecer uma contribuição importante para a utilização dessa abordagem ecológica em ecossistemas

estuarinos tropicais. Por este motivo, este trabalho tem como objetivo caracterizar as associações fitoplanctônicas e sua relação com as variáveis ambientais e investigar a variação sazonal, espacial e entre marés dessas associações fitoplanctônicas em estuários no nordeste do Brasil.

2 Material e Métodos

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em três estuários de Pernambuco: Bacia Portuária do Recife, rio Beberibe e rio Capibaribe. Esses ecossistemas estuarinos estão localizados na Região Metropolitana do Recife, uma área altamente urbanizada e que abriga um dos principais centros comerciais de Pernambuco (SANTIAGO et al., 2010). Além de possuírem importância histórica, através da formação da cidade de Recife, e socioeconômica através da pesca de subsistência de moluscos e peixes.

Os estuários dos rios Beberibe e Capibaribe são de acordo com a lei estadual nº9.931/86, definidos como áreas de proteção ambiental estadual. Por serem ecossistemas que foram descaracterizados, através do desmatamento e aterro de suas margens, como consequência da ação antrópica, são considerados casos especiais de proteção (CPRH, 2012). São ecossistemas que devido a sua proximidade com áreas povoadas e industrializadas, recebem a influência de intensas atividades antrópicas (NORIEGA et al., 2013a).

Estas áreas apresentam um clima do tipo As' (tropical quente e úmido), caracterizado por dois períodos pluviométricos distintos, um período chuvoso (março a agosto) e um período de estiagem (setembro a fevereiro) (ARAGÃO, 2004; MELO et al., 2014).

A Bacia portuária do Recife pode ser classificada como uma planície estuarina com um intenso sistema hidrodinâmico (NORIEGA et al., 2013b). É formada pela confluência dos rios Capibaribe, Tejipió, Jequiá, Jordão, Beberibe e Bacia do Pina, que em uma foz conjunta deságuam no oceano Atlântico (CPRH, 2012). Estende-se por 2960 m, e, principalmente durante o período chuvoso o aporte nesses estuários reduz a camada fótica, além de enriquecer as águas com grandes quantidades de nutrientes e de material em suspensão (NORIEGA et al., 2013b).

O rio Beberibe nasce no município de Camaragibe, possui uma área de drenagem de 81 km² e percorre 19 km de extensão até desaguar no Oceano Atlântico (CONDEPE, 1980; CPRH, 2012). O estuário do rio Beberibe é considerado um dos mais poluídos de Pernambuco (CPRH, 2012) e vem sofrendo, nos últimos 50 anos com as consequências da ocupação desordenada de suas margens, resultando no assoreamento da sua calha, no estreitamento de

sua largura e a contaminação da sua água através dos esgotos domésticos e industriais (GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO, 2008).

O rio Capibaribe é o maior rio do estado de Pernambuco (CPRH, 2012), atravessa 42 cidades na sua bacia, seus principais afluentes são os reservatórios de Tapacurá, Jucazinho, Carpina, Goitá e Poço Fundo (AQUINO et al., 2014) e percorre 240 km de extensão até desaguar no oceano Atlântico (MONTEIRO et al., 2011). O estuário do rio Capibaribe recebe o enriquecimento de nutrientes provenientes da intensa atividade humana. Esse aumento do impacto antrópico tem acelerado ao longo dos anos, como resultado do aumento do desenvolvimento industrial e do crescimento da urbanização (PARANAGUÁ et al., 2005).

Como consequência dessas atividades antrópicas nos estuários estudados ocorre, ainda, a redução de trechos de *Rhizophora mangle* Linnaeus, *Laguncularia racemosa* Gaerth e *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke (PARANAGUÁ et al., 2005), acentuado comprometimento da qualidade da água com depleção do oxigênio, valores elevados da DBO₅, elevadas concentrações de amônia, fosfato e metais pesados e a presença de coliformes fecais (SRH, 2010).

Apesar dos efeitos da eutrofização podem ser encontradas diversas espécies de anfíbios, répteis, aves, mamíferos, além de indivíduos da macrofauna bentônica, ictiofauna e carcinofauna (CPRH, 2012). Outros estudos realizados abordam a presença de rotíferos que possuem espécies adaptadas a ambientes poluídos, destacando-se as espécies *Favella ehrenbergii* (Claparède e Lachmann, 1858), *Brachionus plicatilis* (Mueller, 1786), *Lecane bulla* (Gosse, 1851) e *Filinia longiseta* (Ehrenberg, 1834) (SILVA et al., 1996).

Quanto ao estudo das microalgas apresentam-se diversificadas, com o predomínio das diatomáceas destacando-se *Asterionellopsis glacialis* (Castracane) Round, *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Biddulphia biddulphiana* (J. E. Smith) Boyer, *Coscinodiscus centralis* Ehrenberg, *Fragilaria capucina* Desmazières, *Gyrosigma balticum* (Ehrenberg) Rabenhorst, *Helicotheca tamesis* (Shrubsole) M. Ricard, *Rhabdonema adriaticum* Kützing. Observando-se também um aumento na ocorrência de espécies de água doce, como clorofíceas *Pediastrum duplex* Meyen e cianobactérias *Oscillatoria princeps* Vaucher ex Gomont, *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek (AQUINO et al., 2014; BORGES et al., 2012; SANTIAGO et al., 2010).

2.2 Coleta e análise das amostras

As coletas das amostras de água para o estudo do fitoplâncton e dos parâmetros abióticos foram realizadas durante o período chuvoso (junho, julho e agosto) e de estiagem

(outubro, novembro e dezembro) de 2011. Foram determinados três pontos de coleta: Bacia Portuária do Recife (P1; latitudes $8^{\circ} 02' 50''$ e $8^{\circ} 04' 12''$ S, longitudes $35^{\circ} 57' 20''$ e $35^{\circ} 58' 20''$ W), estuário do rio Beberibe (P2; latitudes $7^{\circ} 59'$ e $8^{\circ} 02'$ S, longitudes $34^{\circ} 52'$ e $35^{\circ} 00'$ W) e estuário do rio Capibaribe (P3; latitudes $7^{\circ} 54'$ e $8^{\circ} 19'$ S, longitudes $34^{\circ} 54'$ e $36^{\circ} 42'$ W) (Figura 1).

Parâmetros abióticos como temperatura e transparência da água foram determinados *in situ*, através de um termômetro e disco de Secchi, respectivamente. Para os demais parâmetros (salinidade, oxigênio dissolvido, material particulado em suspensão, pH e nutrientes), as amostras foram coletadas na superfície utilizando uma garrafa Kitahara e analisadas no Laboratório de Oceanografia Química da Universidade Federal de Pernambuco. A salinidade foi determinada através do método de Morh-Knudsen, e o oxigênio dissolvido, pelo método de Winkler, ambos descritos por Strickland e Parsons (1972). O material particulado em suspensão, pelo método descrito por Baumgarten et al. (2010) e o pH através de um pH-metro Hanna 8417. Os sais nutrientes dissolvidos (nitrato e fosfato) foram determinados de acordo com Strickland e Parsons (1972) e amônia e silicato de acordo com Grashoff et al. (1983).

Figura 1: Localização dos pontos de coleta em estuários urbanos de Pernambuco (Nordeste do Brasil). St.P1=ponto 1; St.P2=ponto 2; St.P3=ponto 3.



Fonte: Carlos Delgado Noriega.

As amostras para o estudo quantitativo do fitoplâncton foram coletadas utilizando uma garrafa Kitahara e fixadas com Lugol 2% imediatamente após a coleta. A análise das amostras

foi realizada em microscópio invertido (Zeiss, AXIOVERT) através da contagem de dois transectos aplicando-se método de Utermöhl (1958). Após a contagem a densidade fitoplanctônica foi expressa em Cél.L⁻¹. Para a complementação do inventário florístico foram realizadas coletas com rede de plâncton com abertura de malha de 45µm e as amostras foram fixadas com formol 4%.

A identificação taxonômica dos organismos foi baseada em bibliografia especializada: Balech (1988), Bérard-Therriault et al. (1999), Chrétiennot-Dinet et al. (1990), Cupp (1943), Hoppenrath et al. (2009), Hustedt (1930, 1959, 1961-1966), Silva-Cunha e Eskinazi-Leça (1990) e Sournia (1967, 1986). Para o enquadramento dos táxons foi utilizado o sistema de classificação do banco de dados internacional ALGAEBASE (GUIRY e GUIRY, 2015).

A abundância de cada táxon foi calculada de acordo com Lobo e Leighton (1986) utilizando a seguinte classificação: dominante (espécie cuja ocorrência numérica é maior que 50% do número total de indivíduos da amostra) e abundante (espécie cuja ocorrência supera o valor médio de indivíduos da amostra).

Para a elaboração dos grupos funcionais foi utilizada a classificação de Reynolds et al. (2002) e complementada com os trabalhos de Padišák et al. (2009) e Kruk et al. (2002). A classificação de Smayda e Reynolds (2001) foi utilizada para os dinoflagelados. As espécies do fitoplâncton que contribuíram com mais de 5% da abundância total foram consideradas representativas para agrupá-las em associações funcionais.

A relação entre os parâmetros abióticos (temperatura, transparência da água, oxigênio dissolvido, salinidade, fosfato, nitrato, nitrito, amônia e silicato) e as associações fitoplanctônicas foi testada através da Análise dos Componentes Principais (ACP) usando o programa *NTSYS*.

Diferenças significativas entre os pontos (P1, P2, P3) foram determinadas com o teste de Kruskal-Wallis, e as diferenças entre os períodos sazonais (chuvoso e de estiagem) e marés (baixa-mar e preamar) foram determinadas com o teste de Mann Whitney; o nível de significância para ambos os testes foi $p < 0,05$.

3 Resultados

3.1 Parâmetros abióticos

A precipitação mínima durante o estudo foi 34,6 mm (outubro de 2011) e o máximo foi 444,4 mm (julho de 2011). A temperatura da água apresentou valores inferiores no período chuvoso (22-27°C) aumentando no período de estiagem (26-28°C) ocorrendo diferença significativa sazonal ($p < 0,05$). A salinidade oscilou entre 0,07 e 32,79, com maiores valores

no período de estiagem e durante as preamares e apresentando diferença significativa espacial ($p < 0,05$) e entre marés ($p < 0,05$) (Tabela 1).

Os estuários estudados caracterizaram-se por apresentar águas turvas, com transparência da água variando de 0,05 a 2,00 m. Maiores valores de transparência foram observados durante o período de estiagem, na Bacia Portuária (P1) e nas preamares, ocorrendo diferença significativa espacial ($p < 0,05$) e entre marés ($p < 0,05$). O material particulado em suspensão variou de 10,00 a 157,50 mg.L^{-1} , com maiores concentrações obtidas no período chuvoso, no estuário do rio Beberibe (P2) e nas baixa-mares (Tabela 1). Não houve diferença sazonal ($p = 0,21$), espacial ($p = 0,98$) e entre marés ($p = 0,37$).

As concentrações do oxigênio dissolvido oscilaram entre valores indetectáveis e 7,05 ml.l^{-1} com diferença significativa sazonal ($p < 0,05$) e entre marés ($p < 0,05$). Condições de anóxia ($< 2,00 \text{ ml.l}^{-1}$) foram observadas no estuário do rio Beberibe (P2) nos meses de julho, agosto, outubro, novembro e dezembro de 2011, com maior concentração durante a baixa-mar. O pH manteve-se alcalino durante o período estudado, variando de 7,75 a 8,94, ocorrendo diferença significativa entre marés ($p < 0,05$) (Tabela 1).

Os nutrientes dissolvidos apresentaram maiores concentrações durante o período chuvoso e no estuário do rio Beberibe (P2). Os teores de amônia variaram de 0,69 a 20,37 $\mu\text{mol.l}^{-1}$, apresentando diferença significativa entre marés ($p < 0,05$). Quanto às concentrações de nitrato, variaram de não detectáveis ($< 0,001 \mu\text{mol.l}^{-1}$) a 30,92 $\mu\text{mol.l}^{-1}$. Não houve diferença significativa sazonal ($p = 0,11$), espacial ($p = 0,66$) e entre marés ($p = 0,06$) para o nitrato. As concentrações de fosfato oscilaram entre 1,24 e 21,39 $\mu\text{mol.l}^{-1}$ e apresentaram diferença significativa sazonal ($p < 0,05$) e entre marés ($p < 0,05$), enquanto as concentrações de silicato oscilaram entre 0,84 e 84,79 $\mu\text{mol.l}^{-1}$ (Tabela 1). Não houve diferença significativa sazonal ($p = 0,13$), espacial ($p = 0,88$) e entre marés ($p = 0,06$) para o silicato.

Tabela 1: Variação sazonal dos parâmetros abióticos durante o período chuvoso e de estiagem nos estuários estudados. Legenda: T=Temperatura da água; Sal.=Salinidade; OD=Oxigênio dissolvido; TA= Transparência da água; MPS= Material Particulado em Suspensão; NH₃= Amônia; NO₃= Nitrato; PO₄= Fosfato; SiO₂= Silicato; KW= Kruskal-Wallis; MW=Mann-Whitney; ND= não detectável.

Parâmetro	Período chuvoso			Período de estiagem			KW (p)		MW (p)
	Min	Max	Média±DP	Min	Max	Média±DP	Espacial	Sazonal	Marés
T (°C)	22,0	27,0	24,72±1,19	26,0	28,0	27,11±0,68	p=0,69	p<0,05	p=0,23
TA (m)	0,05	1,25	0,57±0,39	0,30	2,00	0,80±0,42	p<0,05	p=0,07	p<0,05
OD (mL.L ⁻¹)	ND	4,20	2,27±1,50	ND	7,05	3,74±2,32	p=0,12	p<0,05	p<0,05
Sal.	0,07	32,79	12,36±11,27	3,21	32,35	21,08±9,60	p=0,35	p<0,05	p<0,05
PO ₄ (µmol.L ⁻¹)	1,24	11,82	5,39±2,81	1,51	21,39	5,00±5,77	p=0,38	p<0,05	p<0,05
SiO ₂ (µmol.L ⁻¹)	5,97	62,95	30,99±16,61	0,84	84,79	30,21±33,71	p=0,88	p=0,13	p=0,06
NO ₃ (µmol.L ⁻¹)	ND	30,92	10,97±9,06	0,13	18,32	6,10±5,06	p=0,66	p=0,11	p=0,06
NH ₃ (µmol.L ⁻¹)	0,69	17,41	6,47±4,46	1,26	20,37	5,46±5,14	p=0,06	p=0,16	p<0,05
pH	7,75	8,94	8,32±0,33	7,85	8,75	8,30±0,26	p=0,23	p=0,44	p<0,05
MPS (mg.L ⁻¹)	10,00	157,50	38,28±33,91	20,25	50,75	32,61±7,86	p=0,98	p=0,21	p=0,37

Fonte: Gislayne Cristina Palmeira Borges.

3.2 Comunidade fitoplanctônica

Foram identificados 162 táxons, pertencentes aos filos Charophyta (4,32%), Euglenophyta (5,56%), Dinophyta (8,64%), Cyanobacteria (11,11%), Chlorophyta (17,90%) e Bacillariophyta (52,47%). Destes, 18 foram exclusivos na Bacia Portuária, 22 no estuário do rio Beberibe, 16 no estuário do rio Capibaribe e 106 foram comuns aos três pontos de coleta.

A densidade celular variou de 46.667 Cél.L⁻¹ na preamar do estuário do rio Beberibe (novembro/2011) a 723.333 Cél.L⁻¹ na baixa-mar do estuário do rio Capibaribe (outubro/2011). Foi observada diferença significativa sazonal ($p<0,05$), com os maiores valores registrados durante o período chuvoso.

Foram selecionados 17 grupos funcionais fitoplanctônicos (A, C, D, P, MP, I, II, III, VI, J, T_D, H₁, L_O, S_N, S₁, S₂, F), distribuídos nos dois períodos sazonais (Tabelas 2 e 3). Destes, foram cinco associações de diatomáceas (A, C, D, P e MP), quatro de dinoflagelados (I, II, III e VI), duas de clorófitas (J e T_D), seis de cianobactérias (H₁, L_O, S_N, MP, S₁ e S₂) e duas de carófitas (P e F) (Tabelas 2 e 3).

A contribuição relativa das associações fitoplanctônicas não apresentou variação sazonal significativa ($p=0,22$). Os grupos funcionais que caracterizaram o período chuvoso foram H₁, S₂, C e III, enquanto os grupos I, II e F caracterizaram o período de estiagem (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2: Distribuição sazonal e espacial das associações fitoplanctônicas e densidades encontradas nos estuários da Baía Portuária, Beberibe e Capibaribe (Nordeste do Brasil), durante o período estudado. (*=táxons encontrados somente nas análises qualitativas). P1=baía Portuária; P2=estuário do rio Beberibe; P3=estuário do rio Capibaribe; PC= período chuvoso; PE=período de estiagem. Continua...

Códons	Táxon	P1		P2		P3	
		PC	PE	PC	PE	PC	PE
	Cyanobacteria						
H ₁	<i>Aphanizomenon</i> sp.	70000					
Lo	<i>Chroococcus dispersus</i> (Keissler) Lemmermann					20000	
Lo	<i>Chroococcus</i> sp.				3333		
Lo	<i>Merismopedia punctata</i> Meyen						20000
MP	<i>Oscillatoria formosa</i> Bory de Saint-Vincent ex Gomont*			-		-	
MP	<i>Oscillatoria princeps</i> Vaucher ex Gomont		10000		33333	23330	33333
MP	<i>Oscillatoria tenuis</i> C.Agardh ex Gomont				13333		
MP	<i>Oscillatoria</i> sp.		13333	33333	23333	110000	30000
S ₁	<i>Phormidium</i> sp.			6667			
S ₁	<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek	333333	36667	13333	33333	106667	166667
S ₁	<i>Planktothrix isothrix</i> (Skuja) Komárek & Komárková	113333	16667			33333	63333
S ₂	<i>Spirulina major</i> Kützing ex Gomont*			-			
S _N	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju	70000	6667	10000		80000	23333
	Dinophyta						
I	<i>Gymnodinium</i> sp.		16667				
II	<i>Pyrophacus horologium</i> Stein*				-		-
II	<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg				3333		
III	<i>Ceratium furca</i> (Ehrenberg) Claparède & Lachmann*			-			
VI	<i>Protoperdinium cassum</i> (Balech) Balech						13333
VI	<i>Protoperdinium</i> sp.	20000	10000	6667	40000		20000
	Bacillariophyta						
A	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i> (Bergon) Hasle				3333		
A	<i>Rhizosolenia setigera</i> Brightwell					13333	
A	<i>Thalassiosira</i> sp.	30000	10000	96667	13333	96667	60000
C	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing					40000	
D	<i>Asterionellopsis glacialis</i> (Castracane) Round*	-	-	-	-	-	-
D	<i>Amphora</i> sp.*			-			
D	<i>Bellerochea malleus</i> (Brightwell) Van Heurck*		-		-		-
D	<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder*	-		-			
D	<i>Chaetoceros decipiens</i> Cleve*					-	
D	<i>Coscinodiscus centralis</i> Ehrenberg	10000			6667		
D	<i>Coscinodiscus nitidus</i> Gregory*			-			
D	<i>Coscinodiscus</i> sp.	43333	23333	100000	43333	16667	86667
D	<i>Entomoneis alata</i> (Ehrenberg) Ehrenberg			6667			
D	<i>Entomoneis paludosa</i> (W.Smith) Reimer*					-	
D	<i>Guinardia</i> sp.						10000
D	<i>Guinardia striata</i> (Stolterfoth) Hasle*					-	
D	<i>Helicotheca tamesis</i> (Shrubsole) M.Ricard*		-		-		-
D	<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve				13333		
D	<i>Nitzschia longissima</i> (Brébisson) Ralfs	146667	90000	50000	83333	160000	126667
D	<i>Nitzschia sigma</i> (Kützing) W. Smith			6667			
D	<i>Nitzschia</i> sp.			20000	30000		6667
D	<i>Terpsinoë musica</i> Ehrenberg*			-			
D	<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky*	-	-	-	-		
MP	<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehr.) Reimann & J.C.Lewin		6667	173333	6667	16667	10000
MP	<i>Diploneis</i> sp.			13333			
MP	<i>Lyrella lyra</i> (Ehrenberg) Karajeva				10000	20000	
MP	<i>Navicula</i> sp.	20000		23333	23333	33333	
MP	<i>Odontella</i> sp.		30000		33333		6667
MP	<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	20000			3333		
MP	<i>Plagiogramma</i> sp.						16667
MP	<i>Podocystis adriatica</i> (Kützing) Ralfs			10000			

Tabela 2: Distribuição sazonal e espacial das associações fitoplanctônicas e densidades encontradas nos estuários da Bacia Portuária, Beberibe e Capibaribe (Nordeste do Brasil), durante o período estudado. (*=táxons encontrados somente nas análises qualitativas) Continuação.

Códons	Táxon	P1		P2		P3	
		PC	PE	PC	PE	PC	PE
P	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	16667	10000	6667		20000	110000
	Chlorophyta						
J	<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim*	-					
J	<i>Coelastrum</i> sp.				3333		
J	<i>Crucigenia quadrata</i> Morren					5333	
J	<i>Crucigenia tetrapedia</i> (Kirchner) Kuntze						36667
J	<i>Crucigenia</i> sp.		13333				
J	<i>Gloeocystis vesiculosa</i> Nägeli		13333				
J	<i>Pediastrum duplex</i> Meyen*		-		-	-	-
J	<i>Scenedesmus dimorphus</i> (Turpin) Kützing		6667				20000
J	<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson	16667					36667
Td	<i>Oedogonium</i> sp.		6667			73333	
	Charophyta						
P	<i>Closterium gracile</i> Brébisson ex Ralfs						36667
F	<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Wille		10000		10000		

Fonte: Gislayne Cristina Palmeira Borges.

As associações fitoplanctônicas não apresentaram variação espacial significativa ($p=0,68$). Foram comuns aos três estuários estudados os grupos funcionais MP, S₁, S_N, VI, A, D, P e J. As associações H₁ e I foram encontradas apenas na Bacia Portuária (P1), enquanto que S₂, II e III foram exclusivas do estuário do rio Beberibe (P2) e C foi exclusiva do estuário do rio Capibaribe (P3) (Tabelas 2 e 3).

A ACP indicou relações entre os códons (grupos funcionais) e variáveis abióticas para todos os eixos e explicou 43% da variação dos dados (Fig. 2). O nitrato, a amônia, o silicato e o oxigênio dissolvido foram os principais fatores que influenciaram alguns dos representantes dos grupos funcionais MP, VI, S₁ e J.

A componente 1 explicou 25% da variação dos grupos funcionais e dos parâmetros abióticos analisados. O componente 1 mostrou uma correlação entre o grupo VI constituído por dinoflagelados, com o oxigênio dissolvido (OD) e o pH demonstrando a influência da preamar com águas mais transparentes, alcalinas e salinas. O grupo S₁ constituído por cianobactérias mostrou correlação com o nitrato (NO₃) demonstrando a influência da baixa-mar. O grupo MP constituído por cianobactérias e diatomáceas foi correlacionado com o silicato (SiO₂) e o nitrato (NO₃) indicando a influência da baixa-mar.

Tabela 3: Grupos funcionais do fitoplâncton identificados nos estuários tropicais (Nordeste do Brasil) (modificado de Reynolds et al., 2002 e Smayda e Reynolds, 2001). Continua...

Códon	Representantes	Habitat	Tolerância	Sensibilidade	Período
A	<i>Dacyliosolen fragilissimus</i> , <i>Rhizosolenia setigera</i> , <i>Thalassiosira</i> sp.	Águas claras, profundas	Deficiência de nutrientes	pH elevado	PC/PE
C	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	Águas eutróficas	Deficiência de luz	Esgotamento de S _i , estratificação	PC
D	<i>Amphora</i> sp., <i>Asterionellopsis glacialis</i> , <i>Bellerochea malleus</i> , <i>Chaetoceros affinis</i> , <i>Chaetoceros decipiens</i> , <i>Coscinodiscus centralis</i> , <i>Coscinodiscus nitidus</i> , <i>Coscinodiscus</i> sp., <i>Entomoneis alata</i> , <i>Entomoneis paludosa</i> , <i>Guinardia striata</i> , <i>Guinardia</i> sp., <i>Helicotheca tamesis</i> , <i>Leptocylindrus danicus</i> , <i>Nitzschia longissima</i> , <i>Nitzschia sigma</i> , <i>Nitzschia</i> sp., <i>Terpsinöe musica</i> , <i>Thalassionema nitzschioides</i>	Águas rasas, enriquecidas, turvas	Turbulência	Diminuição de nutrientes, principalmente de S _i	PC/PE
P	<i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Closterium gracile</i>	Águas eutróficas	Média luminosidade, deficiência de carbono	Estratificação, depleção de S _i	PC/PE
MP	<i>Cylindrotheca closterium</i> , <i>Diploneis</i> sp., <i>Lyrella lyra</i> , <i>Navicula</i> sp., <i>Odontella</i> sp., <i>Paralia sulcata</i> , <i>Plagiogramma sp.</i> , <i>Podocystis adriatica</i> , <i>Oscillatoria formosa</i> , <i>Oscillatoria princeps</i> , <i>Oscillatoria tenuis</i> , <i>Oscillatoria</i> sp.	Ambientes rasos/pouco profundos, águas turvas, eutróficas	Turbulência, variação de salinidade	...	PC/PE
S ₁	<i>Planktothrix agardhii</i> , <i>Planktothrix isothrix</i> , <i>Phormidium sp.</i>	Camadas turvas, mescladas	Condições de alta deficiência de luz	Turbulência	PC/PE
S ₂	<i>Spirulina major</i>	Ambientes rasos, turvos	Deficiência de luz	Turbulência	PC
S _N	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	Camadas mornas, mescladas	Deficiência de luz e nitrogênio	Turbulência	PC/PE
F	<i>Elakatothrix gelatinosa</i>		Deficiência de nutrientes	Alta turbidez	PE
J	<i>Actinastrum hantzschii</i> , <i>Coelastrum</i> sp., <i>Crucigenia quadrata</i> , <i>Crucigenia tetrapedia</i> , <i>Crucigenia</i> sp., <i>Gloeocystis vesiculosa</i> , <i>Pediastrum duplex</i> , <i>Scenedesmus dimorphus</i> , <i>Scenedesmus quadricauda</i>	Águas rasa, enriquecidas	...	...	PC/PE
H ₁	<i>Aphanizomenon</i> sp.	Ambientes mesotróficos	Deficiência de nitrogênio	Ambientes com baixa luminosidade e baixa quantidade de fósforo	PC
L _O	<i>Chroococcus dispersus</i> , <i>Chroococcus</i> sp., <i>Merismopedia punctata</i>	Ambientes mesotróficos	Deficiência de nutrientes	Ambientes profundos ou misturados	PC/PE
T _D	<i>Oedogonium</i> sp.	Ambientes mesotróficos, rios rasos de fluxo	...	...	PC/PE
I	<i>Gymnodinium</i> sp.	Ambientes relativamente rasos, eutróficos	...	...	PE
II	<i>Pyrophacus horologium</i> , <i>Prorocentrum micans</i>	Ambientes onde os nutrientes são moderados	...	...	PE
III	<i>Ceratium furca</i>	Águas costeiras estratificadas	...	...	PC

Tabela 3: Grupos funcionais do fitoplâncton identificados nos estuários tropicais (Nordeste do Brasil) (modificado de Reynolds et al., 2002 e Smayda e Reynolds, 2001). Continuação.

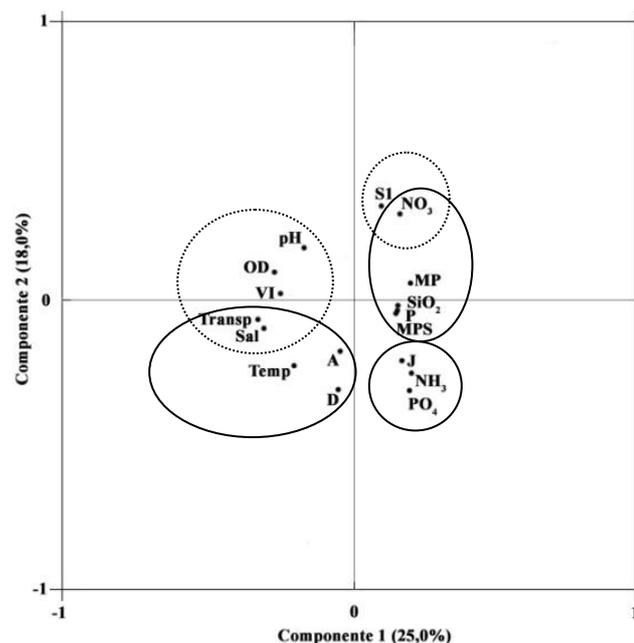
Nota: ... (sem indicação na literatura)

Códon	Representantes	Habitat	Tolerância	Sensibilidade	Período
VI	<i>Protoperidinium cassum</i> , <i>Protoperidinium</i> sp.	Gradiente de mistura onshore- offshore de nutrientes	Alto cisalhamento/estresse	Alta intensidade da turbulência	PC/PE

Fonte: Gislayne Cristina Palmeira Borges.

O grupo P constituído por diatomáceas de água doce e uma clorófitca foi relacionado ao silicato (SiO_2) e ao material particulado em suspensão (MPS) indicando a influência da baixa-mar e a contribuição do rio. O grupo J constituído de clorófitcas foi relacionado ao fosfato (PO_4) e amônia (NH_3) indicando a influência da baixa-mar e do aporte fluvial. Os grupos A e D, constituídos por diatomáceas, estão relacionados a transparência, temperatura da água e salinidade, mas apresentam diferentes influências das marés. Enquanto o grupo A está relacionado a águas mais transparentes, o grupo D recebe a influência da baixa-mar com águas mais turvas.

Figura 2: Contribuição dos grupos funcionais do fitoplâncton e dos parâmetros abióticos aos dois primeiros componentes principais, no Sistema Estuarino do Recife (PE, Brasil). Nota: pH=potencial hidrogeniônico; OD=oxigênio dissolvido; Transp=transparência da água; Sal=salinidade; Temp=temperatura da água; NO_3 =nitrato; SiO_2 =silicato; MPS=material particulado em suspensão; NH_3 =amônia; PO_4 =fosfato.



Fonte: Leandro Cabanez Ferreira.

4 Discussão

Os ecossistemas estuarinos estão sujeitos a modificações espaciais e sazonais causadas por alterações na precipitação pluviométrica e ação das marés (MOSER et al., 2012). De acordo com Noriega et al. (2013b), as marés afetam diretamente a disponibilidade de nutrientes, a composição do fitoplâncton e as concentrações de clorofila *a*.

No Sistema Estuarino do Recife os resultados indicaram que a precipitação pluviométrica e a ação das marés afetaram a distribuição sazonal e espacial dos parâmetros abióticos, da densidade celular e da composição do fitoplâncton.

Especificamente no estuário do rio Beberibe foi registrada a menor transparência da água em decorrência da pequena profundidade e dos elevados valores de material particulado em suspensão. Enquanto nas preamares foi demonstrada a influência no processo de transporte de águas marinhas e menos turvas na área de estudo.

De acordo com Aguiar e Braga (2007), elevadas concentrações de material particulado em suspensão, principalmente durante o período chuvoso, podem ser, dentre outros fatores, decorrente da intensidade do fluxo da descarga fluvial e ressuspensão dos sedimentos. Os valores do pH sempre foram alcalinos em todos os estuários estudados, o que mostra o efeito do sistema carbonato marinho, mantendo o pH dentro dos limites aceitáveis para a vida marinha, fato também observado para o estuário do rio Ebro (PERÉZ et al., 2009).

Os valores de salinidade revelaram a influência da água doce e a distribuição da salinidade refletiu um gradiente decrescente do estuário do rio Capibaribe ao estuário do rio Beberibe. De acordo com trabalhos anteriores (SANTIAGO et al., 2010; BORGES et al., 2012; NORIEGA et al., 2013b), a salinidade das áreas estudadas tem apresentado concentrações semelhantes, com valores mais elevados na preamar e durante o período de estiagem. No período de estiagem, o aumento dos valores foi consequência principalmente do menor aporte fluvial, da diminuição das chuvas e da lâmina d'água. No período chuvoso, a precipitação pluviométrica e o aporte de água doce alteraram positivamente o balanço hídrico nas áreas (precipitação > evaporação).

Nesta pesquisa, o estuário do rio Beberibe apresenta, de maneira geral, a maioria dos valores críticos de oxigênio dissolvido alcançando valores indetectáveis ($0,00 \text{ mL.L}^{-1}$). Além disso, foram observadas também condições de hipóxia ($<2,00 \text{ mL.L}^{-1}$) em mais de 30% das amostras analisadas. Os baixos valores de OD registrados indicaram uma carga elevada de poluição orgânica transportada para as áreas costeiras, que sofrem ao longo dos estuários, processos de sedimentação, remineralização e dispersão. O lançamento de efluentes domésticos *in natura*, industriais e agrícolas não tratados e ricos em matéria orgânica,

nutrientes inorgânicos e poluentes orgânicos, ao longo do percurso dos rios, provoca uma maior demanda de oxigênio dissolvido que limitam o desenvolvimento equilibrado dos organismos aquáticos. Estudos têm demonstrado que condições de hipóxia ocorrem com frequência em alguns estuários como Bilbao (VILLATE et al., 2013) e Changjiang (ZHAO et al., 2015). No Brasil, Aguiar e Braga (2007) estudando os canais estuarinos de Santos e São Vicente também registraram condições de hipóxia nessas áreas. Esses resultados evidenciam a influência antrópica através da urbanização, despejo de dejetos domésticos e industriais e do desmatamento (ZHAO et al., 2015).

Estudos realizados na Bacia Portuária do Recife (SANTIAGO et al., 2010; NORIEGA et al., 2013b) indicaram elevadas concentrações de nutrientes dissolvidos, principalmente no período chuvoso. As concentrações de nutrientes em estuários têm aumentado significativamente em decorrência da atividade humana, principalmente a descarga de resíduos domésticos e industriais, ocasionando eutrofização nesses ecossistemas. Outros fatores como a contribuição dos rios, lixiviação do solo e ressuspensão de sedimento também contribuem para o aumento na disponibilidade de nutrientes. A eutrofização pode ocasionar impactos na diversidade de espécies, contribuir para a formação de *blooms* de espécies tóxicas e o desenvolvimento de condições de hipóxia nos estuários (JICKELLS et al., 2014).

No Sistema Estuarino do Recife, as concentrações de amônia foram elevadas semelhante às que foram encontradas no estuário de Barra das Jangadas (NORIEGA et al., 2005), onde os autores registraram elevadas concentrações desse nutriente dissolvido e associou a descarga fluvial durante o período chuvoso. Essas elevadas concentrações podem ter sido em decorrência de baixos valores de oxigênio dissolvido não permitindo que ocorra a oxidação da amônia para o nitrato e conseqüentemente, acumulando este nutriente no estuário.

A amônia e o fosfato são nutrientes conhecidos por regular a produtividade do fitoplâncton em estuários (FEITOSA et al., 1999; GANG et al., 2014). A alta disponibilidade desses nutrientes na área em estudo é demonstrada pela elevada concentração de clorofila *a*, observada em estudos anteriores no estuário do rio Capibaribe (KOENING *et al.*, 1995); na Bacia do Pina (FEITOSA e PASSAVANTE, 1990; FEITOSA et al., 1999) e na Bacia Portuária do Recife (SANTIAGO et al., 2010; NORIEGA et al., 2013a; AQUINO et al., 2014).

Integrando os dados abióticos e biológicos foi observado que a disponibilidade de nutrientes e a variação da salinidade atuam como resposta às variações sazonais e espaciais, influenciando a composição e distribuição das espécies do fitoplâncton nas áreas estudadas.

Na composição da comunidade e na densidade do fitoplâncton foram observadas alterações com as diatomáceas > cianobactérias > dinoflagelados sendo mais expressivas quantitativamente, enquanto as diatomáceas > clorofíceas > cianobactérias destacaram-se na riqueza de espécies.

A abundância das diatomáceas é comum em ambientes estuarinos, pois, são organismos que requerem elevadas concentrações de nutrientes, além de serem bem adaptadas a suportar variação no gradiente de salinidade e na disponibilidade de luminosidade (CARSTENSEN et al., 2015).

A influência dos rios proporcionou o desenvolvimento das cianobactérias e clorofíceas, características de água doce, fato foi mais expressivo durante o período chuvoso, mas com ocorrência em todo o período de estudo. Também foi possível registrar a presença de espécies marinhas, pertencentes aos dinoflagelados, sob influência da abertura pelo porto do Recife em contato com o Oceano Atlântico.

Essa variação na composição e densidade celular permitiu a diferenciação e formação das associações funcionais nos estuários estudados. A heterogeneidade na distribuição dos grupos funcionais foi demonstrada na ACP. O agrupamento dos grupos funcionais mostrou similaridade entre os três estuários estudados com os parâmetros abióticos.

Neste estudo, foram identificados 17 grupos funcionais, diferentemente do registrado por Costa et al. (2009) no estuário do rio Paraíba do Sul, que identificaram 13 grupos. Apesar de esse número ser um pouco maior nos estuários do presente estudo, ocorreram seis grupos funcionais (D, P, C, J, S_N e F) que foram comuns ao trabalho de Costa et al., (2009) e registrado neste estudo.

Alguns grupos ocorreram nos dois períodos sazonais, tais como L_O, MP, S₁, S_N, A, D, P, J, T_D e VI, mas apresentaram contribuições de diferentes espécies. Sob condições de maior precipitação pluviométrica foram predominantemente representados os grupos MP, S₁, S_N, A, D, L_O e T_D. Estas espécies que os constituem são tolerantes a baixas condições de luminosidade e disponibilidade de nutrientes (PADISÁK et al., 2009; REYNOLDS et al., 2002), fatores que ocorreram nos estuários estudados durante esse período.

No período de estiagem foram predominantes os grupos funcionais P e J composto por diatomáceas, clorofíceas e carofíceas que ocorrem em ambientes de água doce e enriquecidos (REYNOLDS et al., 2002). Em relação ao grupo VI, o desenvolvimento de *Protoperidinium cassum* e *Protoperidinium* sp., foi favorecido pela ação da preamar. Estes dinoflagelados são comumente encontrados em ambientes com gradiente de mistura de nutrientes (SMAYDA e REYNOLDS, 2001).

A ocorrência das associações funcionais nos estuários estudados está correlacionada principalmente à precipitação pluviométrica e ação das marés. Os grupos característicos de água doce indicam a contribuição do fluxo fluvial com águas ricas em nutrientes, enquanto os outros grupos indicaram a influência da preamar, com águas mais salinas e com maiores concentrações de oxigênio dissolvido.

No estuário Paraíba do Sul, Costa et al. (2009) observaram que as diatomáceas desempenharam um importante papel no estuário, verificando que a sua composição foi mais semelhante à encontrada nos rios e reservatórios. Diferentemente do observado neste estudo, onde as diatomáceas foram, em sua maioria, de origem marinha. Isso reflete a influência das marés e nesse caso, a ação da preamar, bem como a característica eurialina dessas espécies, sendo capazes de suportar grandes variações de salinidade, como ocorreu nos estuários estudados.

Da mesma maneira, observa-se o sucesso das clorofíceas (J e T_D) e carofíceas (P e F) evidenciando também a importância do fluxo fluvial e a diminuição na salinidade, demonstrando sua capacidade adaptativa e competitiva. A maior ocorrência de espécies desses grupos funcionais também tem sido observada na Bacia Portuária (SANTIAGO et al., 2010) e no estuário do rio Capibaribe (AQUINO et al., 2015).

5 Conclusão

Em síntese, os dados suportam a aplicação da classificação dos grupos funcionais para estuários tropicais, fornecendo uma informação sobre as espécies dominantes e coexistentes, no Sistema Estuarino do Recife. A sazonalidade não afetou a dinâmica dos grupos funcionais, pois, alguns foram constantes durante os dois períodos estudados com a ocorrência, de maneira geral, de associações típicas de ambientes eutróficos, rasos e turvos (MP, S₁, S_N, VI, A, D, P e J).

Durante o período chuvoso predominaram os grupos funcionais (H₁, S₂, C e II) compostos por espécies que apresentam rápido crescimento e relacionadas a ambientes rasos e enriquecidos. Enquanto durante o período de estiagem predominaram os grupos funcionais I, II e F, compostos por dinoflagelados e carofíceas, relacionados a uma melhoria na qualidade de água, através de valores mais elevados de transparência da água.

A utilização da classificação dos grupos funcionais é uma ferramenta útil e pode ser empregada em estuários tropicais com eficiência. Sugere-se a aplicação dessa metodologia no monitoramento ambiental do Sistema Estuarino do Recife, que é uma área de importância sócio-econômica para o estado de Pernambuco.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estuários estudados estão localizados na Região Metropolitana do Recife considerada um centro comercial e industrial de Pernambuco e uma das principais capitais do Nordeste do Brasil. O crescimento demográfico e comercial da cidade do Recife aconteceu no entorno dos estuários dos rios Capibaribe e Beberibe principalmente na época colonial, com a instalação de engenhos de cana-de açúcar. Essa expansão comercial e industrial não foi acompanhada de desenvolvimento social, com a ocupação desordenada das margens dos estuários por habitações irregulares e condições de saneamento básico precárias.

Esses ecossistemas recebem a carga, muitas vezes, *in natura* dos seus respectivos tributários fluviais e também as elevadas cargas de fertilizantes e de nutrientes, oriundos de latifúndios na Zona da Mata e de áreas erodidas no Agreste, associada à elevada carga de nutrientes advindas de indústrias têxteis, especialmente no rio Capibaribe e de áreas urbanas circunvizinhas, é que alimentam o estado de eutrofização dos corpos d'água.

Apesar da diluição que ocorre durante o percurso até desaguar no Oceano Atlântico, os nutrientes e poluentes acabam somando-se aos que se encontram nos estuários, que podem ser acumulados na teia trófica ou serem depositados no sedimento. Os trabalhos realizados anteriormente afirmam que este sistema estuarino possui uma condição de autodepurador da matéria orgânica e exportador de nutrientes para a zona costeira adjacente. A taxa de renovação das águas é baixa, mostrando uma entrada de biomassa fitoplanctônica no local, demonstrando que o volume de mistura na Bacia Portuária do Recife é o maior que o volume residual (domínio das descargas fluviais) (SANTIAGO dados não publicados; NORIEGA et al., 2013a).

As pesquisas realizadas na Bacia Portuária e no estuário do rio Capibaribe foram intensificadas nos últimos anos, com a divulgação de diversos trabalhos sobre o fitoplâncton através da composição, ecologia, densidade celular e clorofila *a*, além de trabalhos sobre metais pesados em sedimento, matéria orgânica sedimentar e índices tróficos. No estuário do rio Beberibe registra-se informações sobre diagnósticos dos meios físico, biótico e socioeconômico do Estudo de Impacto Ambiental do Projeto de Navegabilidade dos rios Capibaribe e Beberibe (CPRH, 2012) e avaliação da melhoria na qualidade da água após a implementação de estação de tratamento de esgoto (RIBEIRO e ARAÚJO, 2002), evidenciando assim escassez de dados a respeito da comunidade fitoplanctônica.

A caracterização do fitoplâncton indicou a ocorrência de mudança sazonal significativa com a riqueza de espécie mais expressiva no período chuvoso (132 espécies) do que no período de estiagem (120 espécies), com destaque para a Bacia Portuária (115 espécies), seguida do estuário do rio Beberibe (112 espécies) e do rio Capibaribe (106 espécies). A riqueza média durante o período chuvoso foi de 31 espécies enquanto no período de estiagem foi de 28 espécies, demonstrando uma homogeneidade no número de espécies ao longo dos períodos sazonais.

Neste estudo, as características hidroclimáticas favoreceram o desenvolvimento de uma comunidade fitoplanctônica diversificada, com a ocorrência de diatomáceas, cianobactérias, dinoflagelados, clorofíceas, carofíceas e euglenofíceas, além de influenciar o número de células por litro, o biovolume celular, a biomassa em carbono e a clorofila *a*. Ocorreu uma sucessão entre os principais grupos fitoplanctônicos durante os períodos sazonais. As diatomáceas apresentaram uma maior riqueza de espécies, destacando-se *Coscinodiscus* sp. que foi mais importante em termos de contribuição de biovolume e biomassa em carbono durante o período de estiagem. As cianobactérias *Planktothrix isothrix* e *Oscillatoria* sp. foram as principais espécies que contribuíram para a variação do biovolume e biomassa em carbono, apresentando maiores valores durante o período chuvoso.

A densidade celular apresentou baixos valores (máximo de 723.333 cél.L⁻¹) quando comparada a outros estuários como o Ariquindá (GREGO, 2009), isto está associado à baixa transparência da água e elevada concentração de material particulado em suspensão que ocorreram praticamente durante todo o período de estudo. Estes parâmetros contribuíram para a diminuição da penetração da luz reduzindo a taxa fotossintética e conseqüentemente o desenvolvimento do fitoplâncton. Entretanto, foram registrados picos de densidade celular nos dois períodos sazonais. As espécies responsáveis por esses picos foram as cianobactérias *Planktothrix isothrix* e *Planktothrix agardhii* na Bacia Portuária e no estuário do rio Capibaribe e a diatomácea *Nitzschia longissima* no estuário do rio Capibaribe.

Algumas das espécies encontradas nesse estudo são conhecidas na literatura por serem produtoras de alguma toxina que podem afetar o ser humano bem como moluscos e peixes, como *Anabaena spiroides*, *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Microcystis aeruginosa*, *Planktothrix agardhii*, *Planktothrix isothrix*, *Pyrophacus horologium*, *Prorocentrum micans*, *Asterionellopsis glacialis*, *Cylindrotheca closterium*, *Coscinodiscus centralis*, *Leptocylindrus danicus* e *Skeletonema costatum*. Essas espécies podem causar florações e prejudicar a pesca artesanal e o turismo no Sistema Estuarino do Recife, ocasionando um prejuízo sócio-econômico para a região.

As cianobactérias *Planktothrix agardhii* e *Planktothrix isothrix*, e as diatomáceas *Bellerochea malleus*, *Cyclotella* sp., *Cylindrotheca closterium* e *Nitzschia longissima* foram dominantes, evidenciando a frequência de ocorrência desses grupos em estuários de Pernambuco. Estudos realizados por Dantas (2010) confirmam o registro de florações das espécies *P. agardhii* e *P. isothrix* em diversos reservatórios de Pernambuco, e são evidenciados a distribuição dessas cianobactérias até os estuários estudados, principalmente no rio Capibaribe que tem como principais afluentes os reservatórios de Tapacurá e Jucazinho. A ocorrência dessa espécie do reservatório até a foz indica a capacidade desta cianobactéria de tolerar variações na salinidade, uma vez que, é encontrada em ambientes de água doce, como reservatórios (DANTAS et al., 2012) como em ecossistemas estuarinos (PEREZ et al., 2009).

A utilização do biovolume, biomassa em carbono e grupos funcionais foi realizada para complementar a análise da comunidade fitoplanctônica nos estuários estudados. Esse estudo permitiu a identificação dos grupos funcionais e sua variabilidade sazonal, espacial e entre as marés. Relacionando não só a espécie, mas a junção de diversas espécies, de acordo com as características morfológicas, fisiológicas e adaptativas.

Os grupos funcionais descritos foram, de maneira geral, característicos de ambientes eutróficos e rasos e semelhantes para os três estuários estudados, onde algumas dessas associações foram semelhantes às encontradas em estuário tropical (COSTA et al., 2009) e temperado (SMAYDA e REYNOLDS, 2003; ANDERSON e RENGEFORS, 2006) além de lagoa costeira subtropical (BONILLA et al., 2005).

Com base em tais resultados e considerações, concluí-se que os descritores ambientais utilizados na presente pesquisa revelaram a importância da atuação da precipitação pluviométrica e a ação das marés favorecendo uma distribuição diversa dos atributos do fitoplâncton e foram os principais fatores que condicionaram os parâmetros ambientais estudados no Sistema Estuarino do Recife.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, V. M. C.; BRAGA, E. S. Seasonal and tidal variability of phosphorus along a salinity gradient in the heavily polluted estuarine system of Santos/São Vicente – São Paulo, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, [S.I.], v. 54, p. 464–488, 2007.
- ALVES-DE-SOUZA, C.; GONZÁLEZ, M. T.; IRIARTE, J. L. Functional groups in marine phytoplankton assemblages dominated by diatoms in fjords of southern Chile. **Journal of Plankton Research**, [S.I.], v. 30, n. 2, p. 1233-1243, 2008.
- ALVES-DE-SOUZA, C.; MENEZES, M.; HUSZAR, V. L. M. Phytoplankton composition and functional groups in a tropical humic coastal lagoon, Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, [S.I.], v. 20, n. 3, p. 701-708, 2006.
- AMANCIO, F. C. **Interação entre fitoplâncton e parâmetros ambientais: Subsídio na gestão ambiental marinha**. 2005. 91 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais) – CFCH, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.
- ANDERSON, D. M.; RENGEFORS, K. Community assembly and seasonal succession of marine dinoflagellates in a temperate estuary: The importance of life cycle events. **Limnology and Oceanography**, [S.I.], v. 51, n. 2, p. 860-873, 2006.
- ANDRADE, G. T. C.; PASSAVANTE, J. Z. O.; MUNIZ, K. Biomassa fitoplanctônica do estuário do rio Maracápe (Ipojuca, Pernambuco). In: CHELLAPPA, N. T.; CHELLAPPA, S.; PASSAVANTE, J. Z. O. (Org.). **Ecologia Aquática Tropical**. Natal: SevGraf, 2004. p. 121-142.
- APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 16th edition. American Public Health Association, Washington DC, 1985.
- AQUINO, E. P.; BORGES, G. C. P.; HONORATO DA SILVA, M.; PASSAVANTE, J. Z. O.; SILVA CUNHA, M. G. G. Microphytoplankton community and environmental variables in an urban eutrophic estuary (Capibaribe River, Northeast Brazil). **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, [S.I.], v. 9, n. 4, p. 267-277, 2014a.
- AQUINO, E. P.; BORGES, G. C. P.; HONORATO DA SILVA, M.; PASSAVANTE, J. Z. O.; SILVA CUNHA, M. G. G. Phytoplankton in a tropical estuary, Northeast Brazil: composition and life forms. **CheckList**, São Paulo, v. 11, p. 1633-1637, 2015b.
- AQUINO, E. P.; FIGUEIREDO, L. G. P.; BORGES, G. C. P.; FERREIRA, L. C.; PASSAVANTE, J. Z. O.; SILVA-CUNHA, M. G. G. Seasonal and spatial variation in phytoplankton community structure of an estuary in Northeastern Brazil. **Tropical Ecology**, Índia, v. 56, n. 1, p. 125-131, 2015a.
- AQUINO, E. P.; HONORATO DA SILVA, M.; FEITOSA, F. A. N.; KOENING, M.

L.; PASSAVANTE, J. Z. O. Field observation of *Ornithocercus* spp. (Dinophysiales, Dinophyta): reproductive stages and phased cell division (South Atlantic Ocean, Brazil). **Tropical Oceanography**, Recife, v. 42, n. 2, p. 170-176, 2014b.

ARAGÃO, J. O. R. A influência dos oceanos Pacífico e Atlântico na dinâmica do tempo e do clima do Nordeste do Brasil. pp.145-160. In: E. Eskinazi-Leça et al. (ed.). **Oceanografia: um cenário tropical**. Editora Bagaço, Recife, Brasil. 2004.

ARAÚJO, M.; NORIEGA, C.; VELEDA, D.; LEFÈVRE, N. Nutrient Input and CO₂ Flux of a Tropical Coastal Fluvial System with High Population Density in the Northeast Region of Brazil. **Journal of Water Resource and Protection**, [S.I.], v. 5, p. 362-375, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Informação e documentação-Apresentação de citações em documentos**. NBR10520. Rio de Janeiro: ABNT, 2001a. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Informação e documentação-Trabalhos acadêmicos-apresentação**. NBR14724. Rio de Janeiro: ABNT, 2001b, 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Informação e documentação-Referências-elaboração: procedimento**. NBR6023. Rio de Janeiro: ABNT, 2002, 24p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Informação e documentação-Numeração progressiva das seções de um documento-apresentação**. NBR6024. Rio de Janeiro: ABNT, 2003a, 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Informação e documentação-Sumário-apresentação: procedimento**. NBR6027. Rio de Janeiro: ABNT, 2003b, 2p.

AYRES, M. M.; AYRES, J. R.; AYRES, D. L.; SANTOS, A. S. **BioEstat 5.0**: aplicações estatísticas nas áreas de ciências biológicas e médicas. Instituto de Desenvolvimento Mamirauá, Belém. 2007.

AZEVEDO-CUTRIM, A. C. G. **Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica no Golfão Maranhense – Brasil**. 2008. 147 f. Tese (Doutorado em Oceanografia) –CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

BALECH, E. **Los dinoflagelados del Atlantico Sudoccidental**. Madrid: Ministério de Agricultura Pesca y Alimentacion. (Publicaciones Especiales Instituto Español de Oceanografia, n. 1), 1988. 310 p.

BARBOSA, W. F. A. **Estrutura da comunidade fitoplanctônica do estuário do Rio São Francisco (Alagoas/Sergipe, Brasil)**. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

BARROS-FRANCA, L. M.; BATISTA, R. N. Distribuição horizontal e abundância

- relativa do fitoplâncton no complexo estuarino lagunar de Suape – PE. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE PLÂNCTON, 4, 1990, Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 1991. p. 97-113.
- BASTOS, R. B.; FEITOSA, F. A. N.; MUNIZ, K. Variabilidade espaço-temporal da biomassa fitoplanctônica e hidrologia no estuário do rio Una (Pernambuco, Brasil). **Tropical Oceanography**, Recife, v. 33, p. 1-18, 2005.
- BAUMGARTEN, M. G. Z.; Wallner-Kersanach, M.; Niencheski, L. F. H. **Manual de análises em oceanografia química**. Ed. da FURG, Rio Grande, 2010.
- BECKER, V.; CARDOSO, L. S.; HUSZAR, V. L. M. Diel variation of phytoplankton functional groups in a subtropical reservoir in southern Brazil during an autumnal stratification period. **Aquatic Ecology**, [S.I.], v. 43, p. 285–293, 2009.
- BÉRARD-TERRIAULT, L.; POULIN, M.; BOSSÉ, L. **Guide d'identification du phytoplankton marin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent incluant également certains protozoaires**. Publication special canadienne des sciences halieutiques et aquatiques, 1999. 128 p.
- BERGESCH, M.; ODEBRECHT, C. Análise do fitoplâncton, protozooplâncton e de alguns fatores abióticos no estuário da Lagoa dos Patos. **Atlântica**, Rio Grande, v. 19, p. 31-50, 1997.
- BERGESCH, M.; ODEBRECHT, C. Estrutura do tamanho do fitoplâncton no estuário da Lagoa dos Patos: uma comparação entre três métodos de análise. **Atlântica**, Rio Grande, v. 17, p. 53-62, 1995.
- BONILLA, S.; CONDE, D.; AUBRIOT, L.; PEREZ, M. D. Influence of hydrology on phytoplankton species composition and life strategies in a subtropical coastal lagoon periodically connected with the Atlantic Ocean. **Estuaries**, [S.I.], v. 28, p. 884–895, 2005.
- BORGES, G. C. P. **Comunidade fitoplanctônica do estuário do Rio Massangana (Pernambuco-Brasil)**. 2011. 105 f. Dissertação (mestrado em Oceanografia) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.
- BORGES, G. C. P.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; GREGO, C. K. S.; AQUINO, E. P.; FERREIRA, L. C.; SILVA, N. B. A., OLIVEIRA, M. G. T. Biovolume celular e biomassa em carbono da comunidade fitoplanctônica em um estuário tropical do nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 2014, Itajaí. **Anais...** Recife, 2014.
- BORGES, G. C. P.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; SANTIAGO, M. F.; LIMA, J. C. Comunidade fitoplanctônica e variáveis ambientais em área portuária, nordeste do Brasil. **Tropical Oceanography**, Recife, v. 40, n. 2, p. 309-318, 2012.
- BORGES, G. C. P.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; SANTIAGO, M. F.; LIMA, J. C.; BARBOSA, G. G. G. Variação sazonal da clorofila *a* em um estuário impactado (estuário do rio Beberibe, PE, Brasil). In: REUNIÃO DA SBPC, 65, 2013, Recife.

Anais eletrônicos... Recife: UFPE, 2013. Disponível

em:<<http://www.sbpcnet.org.br/livro/65ra/resumos/resumos/7188.htm>>. Acesso em: 20 de mar. 2015.

BORGES, P. A. F.; TRAIN, S.; RODRIGUES, L. C. Spatial and temporal variation of phytoplankton in two subtropical Brazilian reservoirs. **Hydrobiologia**, [S.I.], v. 607, p. 63–74, 2008.

BOUVY, M.; NASCIMENTO, S. M.; MOLICA, R. J. R.; FERREIRA, A.; HUSZAR, V. L. M.; AZEVEDO, S. M. F. O. Limnological features in Tapacura reservoir (northeast Brazil) during a severe drought. **Hydrobiologia**, [S.I.], v. 493, n. 1-3, p. 115-130, 2003.

BOVO-SCOMPARI, V. M.; TRAIN, S. Long-term variability of the phytoplankton community in an isolated floodplain lake of the Ivinhema River State Park, Brazil. **Hydrobiologia**, [S.I.], v. 610, n. 1, p. 331-344, 2008.

BRAAK C. J. F.; SMILAUER P. **Canoco Reference Manual and CanoDraw for Windows User's guide**: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, New York. 2002.

BRANCO, E. S.; FEITOSA, F. A. N.; FLORES MONTES, M. J. Variação sazonal e espacial da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros hidrológicos no estuário de Barra das Jangadas (Jaboatão dos Guararapes – Pernambuco – Brasil). **Tropical Oceanography**, Recife, v. 30, n. 2, p. 79-96, 2002.

BRANDINI, F. P.; LOPES, R. M.; GUTSEIT, K. S.; SPACH, H. L.; SASSI, R. **Planctologia na plataforma continental do Brasil: diagnose e revisão bibliográfica**. Rio de Janeiro: FEMAR., 1997. 196p.

BRAYNER, F. M. M.; BARBOSA, F. M. M.; SILVA, H. K. P.; MELO, L. V. Behaviour of heavy metals in the estuarine area of the Capibaribe River in the Northeast of Brazil. **Journal de Physique IV (Proceedings)**, [S.I.], v. 107, p. 221-225, 2003.

BROGUEIRA, M. J.; OLIVEIRA, M. R.; CABEÇADAS, G. Phytoplankton community structure defined by key environmental variables in Tagus estuary, Portugal. **Marine Environmental Research**, [S.I.] v. 64, p. 616–628, 2007.

CABRITA, M. T. Phytoplankton community indicators of changes associated with dredging in the Tagus estuary (Portugal). **Environmental Pollution**, [S.I.], v. 191, p. 17-24, 2014.

CARIĆ, M.; JASPRICA, N.; CALIĆ, M.; BATISTIĆ, M. Phytoplankton response to high salinity and nutrient limitation in the eastern Adriatic marine lakes. **Scientia Marina**, [S.I.], v. 75, n. 3, p. 493-505, 2011.

CARR, J. M.; HERGENRADER, G. L.; TROELSTRUP, N. H. A simple inexpensive method for cleaning diatoms. **Transactions of American Microscopical Society**, [S.I.], v. 105, p. 152-157, 1986.

CARSTENSEN, J.; KLAIS, R.; CLOERN, J. E. Phytoplankton blooms in estuarine and coastal waters: Seasonal patterns and key species. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [S.I.], v. 162, p. 98-109, 2015.

CAVALCANTE, L. B.; MACEDO, S. J.; PASSAVANTE, J. Z. O. Estudo ecológico da região de Itamaracá, Pernambuco-Brasil. XXI. Caracterização do Canal de Santa Cruz em função dos parâmetros físico-químicos e pigmentos fotossintéticos. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 16, p. 157-216, 1981.

CHELLAPA, N. T.; LIMA, A. K. A.; CHELLAPA, T. Occurrence and dominance of an invasive toxin producing marine cyanobacteria into mangrove environment of the Potengi River Estuary, in Natal, Rio Grande do Norte State, Brazil. **Arquivos de Ciências do Mar**, [S.I.], v. 38, p. 19-27, 2005.

CHRETIÉNNOT-DINNET, M. J.; BILARD, C.; SOURNIA, A. **Chlorarachniophycées, Chlorophycées, Chrysophycées, Cryptophycées, Euglénophycées, Eustigmatophycées, Prasinophycées, Prymnesiophycées, Rhodophycées et Tribophycées**. Paris, Editions du Centre National Recherche Scientifique. (Atlas du phytoplankton marin 3), 1990.

CLOERN, J. E.; DUFFORD, R. Phytoplankton community ecology: principles applied in San Francisco Bay. **Marine Ecology Progress Series**, [S.I.], v. 285, p. 11–28, 2005.

CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente: Resolução nº357. <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. (accessed on 16 May 2013). 2005.

CONDEPE. **Perfil fisiográfico das bacias hidrográficas de Pernambuco**. Recife: CONDEPE, 1980. 275 p.

COSTA, L. S.; HUSZAR, V. L. M.; OVALLE, A. R. Phytoplankton Functional Groups in a Tropical Estuary: Hydrological Control and Nutrient Limitation. **Estuaries and Coasts**, [S.I.], v. 32, p. 508-521, 2009.

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente (PE). Relatório de Impacto Ambiental – Projeto de Navegabilidade dos rios Capibaribe e Beberibe. 2012. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/RIMA-Navegabilidade-Capibaribe-Beberibe.pdf>> Acesso em 17 de agosto de 2015.

CUPP, E. D. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. **Bulletin of the Institution of Oceanography**, [S.I.], v. 6, p. 1-237, 1943.

DANTAS, E. W.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C.; MOURA, A. N. 2012. Dynamics of phytoplankton associations in three reservoirs in northeastern Brazil assessed using Reynolds' theory. **Limnologica**, [S.I.], v. 42, p. 72-80, 2012.

DANTAS, E. W.; MOURA, A. N.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C.; ARRUDA

NETO, J. D. T.; CAVALCANTI, A. D. Temporal variation of the phytoplankton community at short sampling intervals in the Mundaú reservoir, Northeastern Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, [S.I.], v. 22, n. 4, p. 970-982, 2008.

DAY JR, J. W.; HALL, C. A. S.; KEMP, W. M.; YÁÑEZ-ARANCIBIA, A. **Estuarine Phytoplankton**. pp.147-188. In: Estuarine Ecology. **Wiley-Interscience Publication**, 1989.

DHN. Hydrography and Navigation Board. Previsões de marés. Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas> (acessado em 02/08/2010), 2010.

DIAS, S. N. **Ecologia do fitoplâncton no reservatório Arcoverde: estudo nictemeral e sazonal**. 2009. 49 f. Dissertação (Mestrado em Botânica), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

ESKINAZI, E. Estudo da Barra das Jangadas parte VI – distribuição das diatomáceas. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 7/8, p. 17-32, 1965/66.

ESKINAZI, E.; SATO, S. Contribuição das diatomáceas da praia de Piedade (Pernambuco – Brasil). **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 5/6, p. 73-114, 1963/64.

ESKINAZI-LEÇA E.; SANTANA, M. R. Diatomáceas da Laguna Mundaú (Alagoas-Brasil). **Anais da Sociedade Federal Rural de Pernambuco**, [S.I.], v. 213, p. 181-208, 1977/78.

ESKINAZI-LEÇA, E. Estudo ecológico do fitoplâncton na plataforma de Pernambuco. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE PLÂNCTON, 4, 1990, Recife. **Resumos...** Recife: EDUFPE, 1991. p. 54.

ESKINAZI-LEÇA, E. Shelf off Alagoas and Sergipe (Northeastern Brazil). III. Diatoms from the São Francisco river mouth. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 9/11, p. 181-192, 1967.

ESKINAZI-LEÇA, E. **Taxonomia e distribuição das diatomáceas (Bacillariophyceae) na laguna de Mundaú (Alagoas-Brasil)**. 1976. 100 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1976.

ESKINAZI-LEÇA, E., GUSMÃO, L. M. O.; SILVA, M. G. C. Microfitoplâncton da Baía do Capim (Estado do Maranhão – Brasil). In: REUNIÃO NORDESTINA DE BOTÂNICA, 7, 1985, Recife. **Anais...** Recife: Sociedade Botânica do Brasil, 1985. p. 57-85.

ESKINAZI-LEÇA, E.; KOENING, M. L. Distribuição das diatomáceas (Bacillariophyceae) na área de Suape (Pernambuco – Brasil). **Trabalhos Oceanográficos**, Recife, v. 19, p. 73-100, 1985/86.

ESKINAZI-LEÇA, E.; KOENING, M. L.; SILVA CUNHA, M. G. G. Estrutura e

dinâmica da comunidade fitoplanctônica. pp. 353-374. In: E. Eskinazi-Leça, S. Neumann-Leitão & M. F. Costa (Org.) **Oceanografia um cenário tropical**. Recife: Bagaço. 2004.

ESKINAZI-LEÇA, E.; MACEDO, S. J. M.; PASSAVANTE, J. Z. O. Estudo ecológico da região de Itamaracá, Pernambuco, Brasil. V. Composição e distribuição do microfítolâncton na região do Canal de Santa Cruz. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 15, p. 185-262, 1980.

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

ESKINAZI-LEÇA, E.; SILVA CUNHA, M. G. G.; MOURA, R. T.; MOURA JÚNIOR, A. M. Avaliação do biovolume de diatomáceas planctônicas ocorrentes em áreas costeiras do Estado de Pernambuco. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 47, 1996, Nova Friburgo. **Resumos...** Nova Friburgo, 1996.

ESKINAZI-LEÇA, E.; SILVA-CUNHA M. G. G.; SANTIAGO M. F.; BORGES G. C. P.; LIMA J. C.; SILVA M. H.; MENEZES M.; FERREIRA L. C.; AQUINO E. P. Bacillariophyceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2011/FB097964> (acessado em 10/10/2012), 2012.

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

ESKINAZI-SANT'ANNA, E. M.; TUNDISI, J. G. Zooplâncton do estuário do Pina (Recife, Pernambuco, Brasil): composição e distribuição temporal. **Revista Brasileira de Oceanografia**, [S.I.], v. 44, n. 1, p. 23-33, 1996.

EWA-OBOHO, I.; OLADIMEJI, O.; ASUQUO, F. E. Effect of dredging on benthic-pelagic production in the mouth of Cross River Estuary (off the Gulf of Guinea), S. E. Nigeria. **Indian Journal of Marine Sciences**, [S.I.], v. 37, n. 3, p. 291-297, 2008.

FEITOSA, F. A. N.; NASCIMENTO, F. C. R.; COSTA, K. M. P. Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros hidrológicos na Bacia do Pina (Recife – PE). **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 27, n. 2, p. 1-13, 1999b.

FEITOSA, F. A. N.; PASSAVANTE, J. Z. O. Variação sazonal da biomassa primária do fitoplâncton na bacia do Pina (Recife, Pernambuco, Brasil). **Trabalhos Oceanográficos**, Recife, v. 21, p. 33-46, 1990.

FEITOSA, F. A. N.; PASSAVANTE, J. Z. O. Distribuição espacial e temporal da biomassa primária do fitoplâncton na bacia do Pina (Recife- Pernambuco – Brasil). **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v.

22, p. 65-82, 1991/93.

FEITOSA, F.A.N.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; PASSAVANTE, J. Z. O.; NEUMANN-LEITÃO, S.; LINS, I. C. Estrutura do microfitoplâncton no sistema estuarino do rio Goiana, Pernambuco, Brasil. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 27, n. 2, p. 15-25, 1999a.

FELIP, M.; CATALAN, J. The relationship between phytoplankton biovolume and chlorophyll in a deep oligotrophic lake: decoupling in their spatial and temporal maxima. **Journal of Plankton Research**, [S.I.], v. 22, n. 1, p. 91–105, 2000.

FERREIRA, A. N.; BERETTA, M.; MAFALDA JUNIOR, P. O. Avaliação do impacto da dragagem sobre associação fitoplanctônica do Porto de Aratu, Baía de Todos os Santos, Bahia. **Arquivos de Ciências do Mar**, Fortaleza, v. 45, n. 1, p. 30-46, 2012.

FERREIRA, L. C.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; AQUINO, E. P.; BORGES, G. C. P.; FEITOSA, F. A. N.; ESKINAZI-LEÇA, E.; LIMA, J. C. Temporal and spatial variation of phytoplankton in atropical reef área of Brazil. **Tropical Ecology**, Índia, v. 56, n. 3, p. 367-382, 2015.

FERREIRA, L. C.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; FIRMO, A. L. B.; BORGES, G. C. P.; LIMA, J. C.; LIMA, E. P.; SILVA, N. B. A. Fitoplâncton como ferramenta de gestão ambiental na praia de Brasília Teimosa, Pernambuco, Nordeste do Brasil. **Tropical Oceanography**, Recife, v. 41, n. 1-2, p. 120-131, 2013.

FERREIRA, L. C.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; KOENING, M. L.; FEITOSA, F. A. N.; SANTIAGO, M. F.; MUNIZ, K. Variação temporal do fitoplâncton em três praias urbanas do litoral sul do estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 214-224, 2010.

FERREIRA-CORREIA, M. M.; ALMEIDA, I. C. S.; DOURADO, E. C. S. Microalgas da Baía de Turiaçu, APA das reentrâncias maranhenses – uma abordagem qualitativa. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, [S.I.], v. 17, p. 1-8, 2004.

FLORES MONTES, M. J.; MACEDO, S. J.; KOENING, M. L.; CORREIA, I. L. Variação nictemeral do fitoplâncton e elementos nutrientes no Canal de Santa Cruz, Itamaracá-PE-Brasil. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 26, n. 1, p. 13-26, 1998.

FLORES MONTES, M. J.; PAULO, J. G.; NASCIMENTO FILHO, G. A.; GASPAR, F. L.; FEITOSA, F. A.; SANTOS JÚNIOR, A. C.; BATISTA, T. N. F.; TRAVASSOS, R. K.; PITANGA, M. E. The trophic status of an urban estuarine complex in Northeast Brazil. **Journal of Coastal Research**, [S.I.], v. 64(SI), p. 408-411, 2011.

FONSECA, B. M.; BICUDO, C. E. M. Phytoplankton seasonal variation in a shallow stratified eutrophic reservoir (Garcas Pond, Brazil). **Hydrobiologia**, [S.I.], v. 600, n. 1, p. 267-282, 2008.

FONSECA, R. S.; PASSAVANTE, J. Z. O.; MARANHÃO, G. B.; MUNIZ, K. Ecossistema recifal da praia de Porto de Galinhas (Ipojuca, Pernambuco): Biomassa fitoplanctônica e hidrologia. **Boletim Técnico e Científico**, Tamandaré, v. 10, n. 1, p. 9-35, 2002.

FORTE NETO, J. B.; BERETTA, M.; FERREIRA, A. N.; SOUZA, C. S.; MAFALDA JÚNIOR, P. O. A variabilidade da biomassa planctônica sob influência da sazonalidade e da dragagem do Porto de Aratu, Baía de Todos os Santos, Brasil. **Tropical Oceanography**, Recife, v. 42, n. 2, p. 230-242, 2014.

GALLEGOS, C. L.; JORDAN, T. E.; HEDRICK, S. S. Long-term Dynamics of Phytoplankton in the Rhode River, Maryland (USA). **Estuaries and Coasts**, [S.I.], v. 33, p. 471-484, 2010.

GALVÃO, I. B. **Estudo das populações microfitoplanctônicas da região sul de Tamandaré, PE, Brasil**. 1996. 110 f. Monografia (Ciências Biológicas) – CCB, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1996.

GAMA, L. R. M.; SOUSA, M. M.; ALMEIDA, I. C. S.; CARIDADE, E. O.; FERREIRA-CORREIA, M. M.; TERCEIRO, A. M. Microfitoplâncton das baías do Golfão Maranhense e litoral oriental do estado do Maranhão. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, [S.I.], v. 24, n. 1, p. 13-26, 2011.

GANG, L.; QIANG, L.; JUNDA, L.; XINGYU, S.; YEHUI, T.; LIANGMIN, H. Environmental gradients regulate the spatial variations of phytoplankton biomass and community structure in surface water of the Pearl River estuary. **Acta Ecologica Sinica**, [S.I.], v. 34, p. 129-133, 2014.

GAYOSO, A. M. Seasonal Succession Patterns of Phytoplankton in the Bahía Blanca Estuary (Argentina). **Botanica Marina**, [S.I.], v. 42, p. 367-375, 1999.

GEMELGO, M. C. P.; MUCCI, J. L. N.; NAVAS-PEREIRA, D. Population dynamics: seasonal variation of phytoplankton functional groups in Brazilian reservoirs (Billings and Guarapiranga, São Paulo). **Brazilian Journal of Biology**, São Paulo, v. 69, n. 4, p. 1001-1013, 2009.

GÓMEZ, N.; HUALDE, P. R.; LICURSI, M.; BAUER, D. E. Spring phytoplankton of Río de la Plata: a temperate estuary of South America. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [S.I.], v. 61, p. 301-309, 2004.

GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. Secretaria das cidades. Gestão integrada da bacia hidrográfica do rio Beberibe/Pernambuco. Recife: Governo do Estado, 2008. 8 p. Disponível em: <http://www.portais.pe.gov.br/c/portal/layout?p_1_id=PUB.1381.44>. Acesso em 15 de outubro de 2010.

GRASSHOFF, F. K.; ENRHARDT, M.; KREMLING, K. **Methods of seawater analysis**. Verlag Chemie, Weinheim. 1983.

GREGO C. K. S.; FEITOSA F. A. N.; HONORATO DA SILVA M.; SILVA-

CUNHA M. G. G.; FILHO G. A. N. Fitoplâncton do ecossistema estuarino do rio Ariquindá (Tamandaré, Pernambuco, Brasil): variáveis ambientais, biomassa e produtividade primária. **Atlântica**, Rio Grande, v. 31, n. 2, p. 183-198, 2009.

GREGO, C. K. S. **Distribuição espacial e sazonal da composição e biomassa fitoplanctônica correlacionadas com a hidrologia do estuário do rio Timbó (Paulista, Pernambuco)**. 2004. 117 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

GREGO, C. K. S. **Estrutura e dinâmica do fitoplâncton no estuário do rio Ariquindá, Tamandaré, Pernambuco, Brasil**. 2010. 148 f. Tese (doutorado em Oceanografia) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

GREGO, C. K. S.; FEITOSA, F. A. N.; HONORATO DA SILVA, M.; FLORES MONTES, M. J. Distribuição espacial e sazonal da clorofila *a* fitoplanctônica e hidrologia do estuário do rio Timbó (Paulista – PE). **Tropical Oceanography**, Recife, v. 32, n. 2, p. 181-199, 2004.

GUENTHER, M.; ARAÚJO, M.; FLORES-MONTES, M. J.; GONZALEZ-RODRIGUEZ, E.; NEUMANN-LEITÃO, S. Eutrophication effects on phytoplankton size-fractionated biomass and production at a tropical estuary. **Marine Pollution Bulletin**, [S.I.], v. 91, n. 2, p. 537-547, 2015.

GUIRY, M. D.; GUIRY, G. M. **AlgaeBase**. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponível em: <http://www.algaebase.org> Acesso em 17 de agosto de 2015.

HAYS, G. C.; RICHARDSON, A. J.; ROBINSON, C. Climate change and marine plankton. **Trends in Ecology and Evolution**, [S.I.], v. 20, n. 6, p. 337-344, 2005.

HILLEBRAND, H.; DURSELEN, C. D. D.; KIRSCHTEL, U.; POLLINGHER, T.; ZOHARY, T. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. **Journal of Phycology**, [S.I.], v. 35, p. 403-424, 1999.

HONORATO DA SILVA, M. **Estrutura e produtividade da comunidade fitoplanctônica de um estuário tropical (Sirinhaém, Pernambuco, Brasil)**. 2009. 170 f. Tese (Doutorado em Oceanografia) - CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

HONORATO DA SILVA, M.; PASSAVANTE, J. Z. O.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; VIEIRA, D. A. N.; GREGO, C. K. S.; MUNIZ, K. Distribuição espacial e sazonal da biomassa fitoplanctônica e dos parâmetros hidrológicos no estuário do rio Formoso (rio Formoso, Pernambuco, Brasil). **Tropical Oceanography**, Recife, v. 32, n. 1, p. 89-106, 2004.

HONORATO DA SILVA, M.; SILVA CUNHA, M. G. G.; PASSAVANTE, J. Z. O.; GREGO, C. K. S.; MUNIZ, K. Estrutura sazonal e espacial do microfitoplâncton no estuário tropical do rio Formoso, PE, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 355-368, 2009.

HOPPENRATH, M.; ELBRÄCHTER, M.; DREBES, G. **Marine phytoplankton** – Selected microphytoplankton species from the North Sea around Helgoland and Sylt. Kleine Senckeberg-Reihe, 2009. 49 p.

HUSTEDT, F. **Die Kieselalgen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz unter Berücksichtigung der übrigen Länder Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete**. Leipzig: Akademische verlagsgesellschaft (Kryptogamen-Flora von Deutschlands, Österreichs und der Schweiz, v.7, pt.1), 1930.

HUSTEDT, F. **Die Kieselalgen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz unter Berücksichtigung der übrigen Länder Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete**. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geesr & Portig K-G. (L. Rabenhorst, Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz, v.7, pt.2, n.1-6), 1959.

HUSTEDT, F. **Die Kieselalgen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz unter Berücksichtigung der übrigen Länder Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete**. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geesr & Portig K-G. (L. Rabenhorst, Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz, v.7, pt.3, n.1-4), 1961-1966.

HUSZAR, V. L. M.; REYNOLDS, C. S. Phytoplankton periodicity and sequences of dominance in an Amazonian flood-plain lake (Lago Batata, Pará, Brasil): responses to gradual environmental change. **Hydrobiologia**, [S.I.], v. 346, n. 1-3, p. 169-181, 1997.

HUSZAR, V. L. M.; SILVA, L. H. S.; MARINHO, M. M.; DOMINGOS, P.; SANT'ANNA, C. Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical brazilian waters. **Hydrobiologia**, [S.I.], v. 424, p. 67-77, 2000.

HUSZAR, V. L. M.; SILVA, L. H. S. Comunidades fitoplanctônicas de quatro lagoas costeiras do norte do estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Acta Limnologica Brasílica**, [S.I.], v. 4, p. 291-14, 1992.

JAKOBSEN, H. H.; CARSTENSEN, J.; HARRISON, P. J.; ZINGONE, A. Estimating time series phytoplankton carbon biomass: Inter-lab comparison of species identification and comparison of volume-to-carbon scaling ratios. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [S.I.], v. 162, p. 143-150, 2015.

JALES, M. C. **O ecossistema recifal de Serrambi (Pernambuco - Brasil): Estrutura da comunidade fitoplanctônica e variáveis ambientais**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

JICKELLS, T. D.; ANDREWS, J. E.; PARKES, D. J.; SURATMAN, S.; AZIZ, A. A.; HEE, Y. Y. Nutrient transport through estuaries: The importance of the estuarine geography. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [S.I.], v. 150, n. B, p. 215-229, 2014.

KLEIN, V. L. M. Sobre a composição e abundância relativa do plâncton na

plataforma continental do Estado do Ceará. **Arquivos de Ciências do Mar**, Fortaleza, v. 17, n. 1, p. 21-27, 1977.

KLEIN, V. L. M.; MOREIRA, I. C. P. Algumas observações sobre o plâncton da região costeira de Paracuru (Ceará-Brasil). **Arquivos de Ciências do Mar**, Fortaleza, v. 17, n. 2, p. 127-135, 1977.

KOENING, M. L.; ESKINAZI-LEÇA, E. Aspectos quantitativos do fitoplâncton na área estuarina de Suape (Pernambuco). In: ENCONTRO BRASILEIRO DE PLÂNCTON, 4, 1990, Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 1991. p. 55-60.

KOENING, M. L.; ESKINAZI-LEÇA, E. Biomassa e fracionamento do fitoplâncton no estuário do rio Timbó (Pernambuco-Brasil). **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 20, p. 53-76, 1987/89.

KOENING, M. L.; ESKINAZI-LEÇA, E.; CARVALHO, F. A. T. Análise ecológica da diatomoflora do estuário do rio Ipojuca. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 24, p. 61-77, 1996.

KOENING, M. L.; ESKINAZI-LEÇA, E.; NEUMANN-LEITAO, S.; MACEDO, S. J. Impactos da construção do Porto de Suape sobre a comunidade fitoplanctônica no estuário do rio Ipojuca (Pernambuco-Brasil). **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 16, n. 4, p. 407-420, 2002.

KOENING, M. L.; LIRA, C. G. O gênero *Ceratium* Schrank (Dinophyta) na plataforma continental e águas oceânicas do estado de Pernambuco, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 391-397, 2005.

KOENING, M. L.; MACEDO, S. J.; TRAVASSOS, P. E. P. F.; PASSAVANTE, J. Z. O. Phytoplankton biomass of the Capibaribe River estuary (Recife-Pernambuco-Brazil). **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 38, n. 4, p. 1071-1083, 1995b.

KOENING, M. L.; MACEDO, S. J.; TRAVASSOS, P. E.; PASSAVANTE, J. Z. O. Biomassa fitoplanctônica do estuário do rio Capibaribe (PE-Brasil). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, [S.I.], v. 38, n. 4, p. 1071-1083, 1995.

KOENING, M. L.; MACÊDO, S. J.; COSTA, R. A. A. M. Estudo quantitativo do fitoplâncton do estuário do rio Massangana – Suape-PE. In: REUNIÃO NORDESTINA DE BOTÂNICA, 1995, Recife. **Resumos...** Recife: Sociedade Botânica do Brasil, 1995a. p. 131.

KOENING, M. L.; OLIVEIRA, M. S. Estrutura da Comunidade fitoplanctônica no Arquipélago de São Pedro e São Paulo. In: VIANA, D. L.; HAZIN, F. H. V.; SOUZA, M. A. C. (Org.). **O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de Estação Científica**. Brasília: SECIRM, 2009. 348 p.

KOENING, M. L.; WANDERLEY, B. E.; MACEDO, S. J. Microphytoplankton structure from the neritic and oceanic regions of Pernambuco State – Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, [S.I.], v. 69, n. 4, p. 1037-1046, 2009.

KRUK, C.; MAZZEO, N.; LACEROT, G.; REYNOLDS, C. S. Classification schemes for phytoplankton: A local validation of a functional approach to the analysis of species temporal replacement. **Journal of Plankton Research**, [S.I.], v. 24, n. 9, p. 901–912, 2002.

LACERDA, S. R. **Série temporal do fitoplâncton no estuário de Barra das Jangadas (Jaboatão dos Guararapes – Pernambuco – Brasil)**. 2004. 196 f. Tese (Doutorado em Oceanografia) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

LACERDA, S. R.; ESKINAZI-LEÇA, E.; KOENING, M. L. Composição e variação da flora das diatomáceas no estuário do rio Paripe (Itamaracá-Pernambuco-Brasil). **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 26, n. 2, p. 19-30, 1998.

LACERDA, S. R.; KOENING, M. L.; NEUMANN-LEITÃO, S.; FLORES MONTES, M. J. Phytoplankton nyctemeral variation at a tropical river estuary (Itamaracá-Pernambuco-Brazil). **Brazilian Journal of Oceanography**, São Paulo, v. 64, n. 1, p. 81-94, 2004.

LACERDA, S. R.; KOENING, M. L.; NEUMANN-LEITÃO, S.; FLORES MONTES, M. J. Phytoplankton nyctemeral variation at a tropical river estuary (Itamaracá – Pernambuco – Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, [S.I.], v. 64, n. 1, p. 81-94, 2004.

LAVOR-FERNANDES, G. Composição e variação horizontal do microfitoplâncton do estuário do Rio Tibiri em São Luís-MA, Brasil. **Cadernos de pesquisa**, [S.I.], v. 6, n. 1, p. 45-59, 1990.

LAVÔR-FERNANDES, G. Contribuição ao estudo das diatomáceas (Bacillariophyceae) da Lagoa da Jansen (São Luís-MA). **Cadernos de Pesquisa**, São Luís, v. 3, n. 2, p. 34-52, 1987.

LAVÔR-FERNANDES, G. O microfitoplâncton do Rio Paciência, Paço do Lumiar, Maranhão. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, São Luís, v. 8, p. 23-45, 1988.

LEÃO, B. M.; PASSAVANTE, J. Z. O.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; SANTIAGO, M. F. Ecologia do microfitoplâncton do estuário do rio Igarassu, PE, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 711-722, 2008.

LEE, S.; FUHRMAN, J. A. Relationships between biovolume and biomass of naturally derived marine bacterioplankton. **Applied and Environmental Microbiology**, [S.I.], v. 53, n. 6, p. 1298-1303, 1987.

LEHMAN, P. W. Phytoplankton biomass, cell diameter, and species composition in the low salinity zone of northern San Francisco Bay Estuary. **Estuaries**, [S.I.], v. 23, n. 2, p. 216-230, 2000b.

LEHMAN, P. W. The influence of climate on phytoplankton community biomass in San Francisco Bay Estuary. **Limnology and Oceanography**, [S.I.], v. 45, n. 3, p. 580-590, 2000a.

LELES, S. G.; ALVES DE SOUZA, C.; FARIA, C. O.; RAMOS, A. B.; FERNANDES, A. M.; MOSER, G. A. O. Phytoplankton dynamics in response to tidal stirring in a tropical estuary (Southeastern Brazil). **Brazilian Journal of Oceanography**, [S.I.], v. 62, n. 4, p. 341-349, 2014.

LICURSI, M.; GÓMEZ, N. Effects of dredging on benthic diatom assemblages in a lowland stream. **Journal of Environmental Management**, [S.I.], v. 90, p. 973-982, 2009.

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

LINS, M. L. A.; CAMPOS, S. S.; TEIXEIRA, S. F. A ictiofauna da margem do baixo rio Capibaribe, Recife, Pernambuco. **Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil**, Caxambu – MG. 2007.

LOBO, E.; LEIGHTON, G. Estructuras comunitarias de las fitocenosis planctonicas de los sistemas de desembocaduras de ríos y esteros de la zona central de Chile. **Revista de Biología Marina y Oceanografía**, [S.I.], v. 22, p. 1-29, 1986.

LOPES, M. R. M.; BICUDO, C. E. M.; FERRAGUT, M. C. Short term spatial and temporal variation of phytoplankton in a shallow tropical oligotrophic reservoir, southeast Brazil. **Hydrobiologia**, [S.I.], v. 542, n. 1, p. 235-247, 2005.

LOSADA, A. P. M.; FEITOSA, F. A. N.; LINS, I. C. Variação sazonal e espacial da biomassa fitoplanctônica nos estuários dos rios Ilhetas e Mamucaba (Tamandaré-PE) relacionada com parâmetros hidrológicos. **Tropical Oceanography**, Recife, v. 31, n. 1, p. 1-26, 2003.

MACEDO, S. J.; PHILIPPINI-DA-SILVA, H. K.; BRAYNER, F. M. M.; DUARTE, M. M. M. B.; BARBOSA, A. M. F. Heavy metal concentrations in sediments of the Capibaribe river estuary in the Metropolitan Region of Recife, Pernambuco-Brazil. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, [S.I.], v. 102, p. 357-365, 2007.

MACHADO, R. C. A. **Produtividade fitoplanctônica e hidrologia do ecossistema recifal de Porto de Galinhas (Pernambuco-Brasil)**. 2009. 64 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

MAIA, P. R. **Composição e densidade fitoplanctônica na bacia do Pina, Recife-PE**. 1995. 135 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1995.

MAIA, P. R.; KOENING, M. L.; ESKINAZI-LEÇA, E. Densidade fitoplanctônica na bacia do Pina (Recife – PE). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 45, 1993, Recife. **Anais...** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 1993. p. 683.

MARINHO, M. M.; HUSZAR, V. L. M. Nitrogen availability and physical conditions as controlling factors of phytoplankton composition and biomass in a tropical Reservoir (Southern Brazil). **Archiv für Hydrobiologie**, [S.I.], v. 153, p. 443–468, 2002.

MARINS, M. O. S.; ESKINAZI-LEÇA, E.; PASSAVANTE, J. Z. O.; SILVA CUNHA, M. G. G. *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve (Bacillariophyceae): variations in estuarine areas of Pernambuco (Northeastern). In: PLANKTON SYMPOSIUM, 4, 2007, João Pessoa. **Proceedings...** João Pessoa, 2007.

MASUDA, L. S. M. **Composição e distribuição dos organismos fitoplanctônicos na região do banco dos Abrolhos, Bahia**. 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Aquáticos Tropicais), Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2009.

MATEUCCI, S. D.; COLMA, A. La metodología para el estudio de la vegetacion. **Collection de Monografias Cientificas**, [S.I.], v. 22, p. 1-168, 1982.

MEDEANIC S.; DILLENBURG S. R. Palynology and ²¹⁰Pb datings: first integrated approach to estimating anthropogenic impact on the environment of the Tramandaí Lagoon and adjacent areas during the last century. **Journal of Coastal Research**, [S.I.], v. 42, p. 271-276, 2005.

MELO, K. R. P. S. **Estratégias adaptativas do fitoplâncton e aplicação do índice de grupos funcionais: ferramentas para a conservação de ecossistemas rasos do semi-árido brasileiro**. 2012. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Paraíba, 2012.

MELO, M. A. F., KOENING, M. L., SOUTO, J., TRAVASSOS, R. K., SILVA, A. C. Microfitoplâncton de águas costeiras adjacentes ao Porto do Recife (PE-Brasil). **Tropical Oceanography**, Recife, v. 42, p. 80-94, 2014.

MELO, S.; HUSZAR, V. L. M. Phytoplankton in an Amazonian floodplain lake (Lago Batata, Brasil): diel variation and species strategies. **Journal of Plankton Research**, [S.I.], v. 22, n. 1, p. 63-76, 2000.

MELO-MAGALHÃES, E. M.; CAVALCANTI, M. O.; GUEDES E. A.; LIRA, M. C. A. Variação sazonal do microfitoplâncton do Parque Municipal Marinho de Paripueira, AL. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 27, n. 1, p. 1-14, 1999.

MELO-MAGALHÃES, E. M.; MEDEIROS, P. R. P.; LIRA, M. C. A.; KOENING, M. L.; MOURA, A. N. Determination of eutrophic areas Mundaú/Manguaba lagoons Alagoas-Brazil, through studies of phytoplankton community. **Brazilian Journal of Biology**, [S.I.], v. 69, n. 2, p. 271-280, 2009.

MELO-MAGALHÃES, E. M.; MOURA, A. N.; MEDEIROS, P. R. P.; LIMA, E. L.R.; KOENING, M. L. Phytoplankton of the São Francisco River estuarine region (Northeastern Brazil): a study of its diversity. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, [S.I.], v. 15, n. 1, p. 95-105, 2011.

MENDEN-DEUER, S.; LESSARD, E. J. Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms and other protists plankton. **Limnology and Oceanography**, [S.I.], v. 45, n. 33, p. 569-579, 2000.

MONTAGNE, D. J. S.; BERGES, J. A.; HARRISON, P. J.; TAYLOR, F. J. Estimation of carbon, nitrogen, protein, and chlorophyll *a* from volume in marine phytoplankton. **Limnology and Oceanography**, [S.I.], v. 39, p. 1044-1060, 1994.

MONTEIRO, J. J. F.; ESKINAZI-LEÇA, E.; KOENING, M. L.; MACEDO, S. J. New record of *Trichodesmium thiebautii* Gomont ex Gomont (Oscillatoriales-Cyanophyta) for the continental shelf of northeastern Brazil. **Acta Botanica Brasílica**, São Paulo, v. 24, n. 4, p. 1104-1106, 2010.

MONTEIRO, J. J. F.; ESKINAZI-LEÇA, E.; KOENING, M. L.; MACEDO, S. J. Distribution and annual variation of *Trichodesmium thiebautii* Gomont ex Gomont (Oscillatoriales – Cyanophyta) in tropical waters of Northeastern Brazil (Western Atlantic). **Tropical Oceanography**, Recife, v. 40, n. 2, p. 318-325, 2012.

MONTEIRO, L. H. U.; SILVA, G. S.; LIMA, L. L. L.; COUTINHO, P. N. **Estudos hidrodinâmicos e hidroquímicos do estuário do rio Capibaribe e Bacia do Pina, Recife – PE**. V Simpósio Brasileiro de Oceanografia: Oceanografia e Políticas Públicas, Santos, SP, Brasil. 2011.

MOORE, S. K.; TRAINER, V. L.; MANTUA, N. J.; PARKER, M. S.; LAWS, E. A.; BACKER, L.C.; FLEMING, L. E. Impacts of climate variability and future climate change on harmful algal blooms and human health. **Environmental Health**, [S.I.], v. 7, n. 2, p. 1-12, 2008.

MOREIRA FILHO, H.; ESKINAZI-LEÇA, E.; VALENTE-MOREIRA, I. M.; CUNHA, J. A. Avaliação taxonômica e ecológica das diatomáceas (Chrysophyta-Bacillariophyceae) marinhas e estuarinas nos estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí, Maranhão, Pará e Amapá, Brasil. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 27, n. 1, p. 55-90, 1999.

MOREIRA-FILHO, H.; ESKINAZI-LEÇA, E.; VALENTE-MOREIRA, I. M. Avaliação taxonômica e ecológica das diatomáceas (Chrysophyta, Bacillariophyceae) marinhas e estuarinas nos estados do Espírito Santo, Bahia, Sergipe e Alagoas, Brasil. **Biologica Brasílica**, [S.I.], v. 6, n. 1/2, p. 87-110, 1994/95.

MOSER, G. A. O.; CIOTTI, A. M.; GIANNINI, M. F. C.; TONINI, R. T.; HARARI, J. Changes in phytoplankton composition in response to tides, wind-induced mixing conditions, and freshwater outflows in an urbanized estuarine complex. **Brazilian Journal of Biology**, [S.I.], v. 72, n. 1, p. 97-111, 2012.

MOSER, G. A. O.; TAKANOHASHI, R. A.; BRAZ, M. C.; LIMA, D. T.; KIRSTEN, F. V.; GUERRA, J. V.; FERNANDES, A. M.; POLLERY, R. C. G. Phytoplankton spatial distribution on the Continental Shelf off Rio de Janeiro, from Paraíba do Sul River to Cabo Frio. **Hydrobiologia**, [S.I.], v. 728, p. 1-21, 2014.

MOURA JUNIOR, A. M. **Microfitoplâncton no estuário do rio Vaza-Barris, Sergipe**. 1997. 128 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Departamento de Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1997.

MOURA, A. N.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C.; DANTAS, Ê. W.; NETO, J. D. T.A. Phytoplanktonic associations: a tool to understanding dominance events in a tropical Brazilian reservoir. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 21, n. 3, p. 641-648, 2007.

MOURA, G. F.; SASSI, R.; MEIO, G. N.; PASSAVANTE, J. Z. O. Dinâmica diurna e sazonal do fitoplâncton do estuário do rio Paraíba do Norte – Estado da Paraíba – Nordeste do Brasil. **Revista Nordestina Biologia**, [S.I.], v. 10, n. 1, p. 47-63, 1995.

MOURA, R. T. de. **Biomassa, produção primária do fitoplâncton e alguns fatores ambientais na Baía de Tamandaré, Rio Formoso, Pernambuco, Brasil**. 1991. 290 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1991.

MOURA, R. T.; PASSAVANTE, J. Z. O. Biomassa fitoplanctônica da Baía de Tamandaré, Rio Formoso – Pernambuco, Brasil. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 23, p. 1-16, 1994/95.

MUYLAERT, K; SABBE, K.; VYVERMAN, W. Changes in phytoplankton diversity and community composition along the salinity gradient of the Schelde estuary (Belgium/The Netherlands). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [S.I.], v. 82, p. 335–340, 2009.

NABOUT, J. C.; NOGUEIRA, I. S.; OLIVEIRA, L. G. Phytoplankton community of floodplain lakes of the Araguaia river, Brazil, in the rainy and dry seasons. **Journal of Plankton Research**, [S.I.], v. 27, n. 12, p. 1–13, 2005.

NASCIMENTO, E. C. **Variação espaço-temporal da comunidade fitoplanctônica em um reservatório eutrófico do semi-árido do Nordeste (Pernambuco-Brasil)**. 2010. 92f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Departamento de Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

NASCIMENTO, F. C. R; MUNIZ, K. FEITOSA, F. A. N.; ARAÚJO, J. P.; SILVA, R. M. S.; SÔNIA DA SILVA, G.; FLORES MONTES, M. J. Disponibilidade Nutricional da bacia do Pina e rio Tejiipió (Recife, Pernambuco, Brasil) em relação aos nutrientes e biomassa primária (Setembro/2000). **Tropical Oceanography**, Recife, v. 31, n. 2, p. 149-169, 2003.

NAYAR, S.; GOH, B. P. L.; CHOUA, L. M. Environmental impact of heavy metals from dredged and resuspended sediments on phytoplankton and bacteria assessed in situ mesocosms. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [S.I.], v. 59, p. 349-369,

2004.

NEWELL, G. H.; NEWELL, R. **Marine Plankton: a practical guide**. London, Hutchinson Educat. 1963.

NORIEGA, C. E. D.; SANTIAGO, M. F.; FAÇANHA, P.; SILVA CUNHA, M. G. G.; SILVA, R. A.; FLORES-MONTES, M. J.; ARAÚJO-FILHO, M.; COSTA, K. M. P.; ESKINAZI-LEÇA, E.; NEUMANN-LEITÃO, S. The instantaneous transport of inorganic and organic material in a highly polluted tropical estuary. **Marine & Freshwater Research**, [S.I.], v. 64, n. 6, p. 562-572, 2013a.

NORIEGA, C.; ARAUJO, M.; LEFÈVRE, N. Spatial and temporal variability of the CO₂ fluxes in a tropical, highly urbanized estuary. **Estuaries and Coasts**, [S.I.], v. 36, n. 5, p. 1054-1072, 2013b.

NORIEGA, C. E. D.; MUNIZ, K.; ARAÚJO, M.; TRAVASSOS, R. K.; NEUMANN-LEITÃO, S. Fluxos de nutrientes inorgânicos dissolvidos em um estuário tropical – Barra das Jangadas– PE – Brasil. **Tropical Oceanography**, Recife, v. 33, n. 2, p. 133-145, 2005.

OCHOA, N.; TAYLOR, M. H.; PURCA, S.; RAMOS, E.; Intra- and interannual variability of nearshore phytoplankton biovolume and community changes in the northern Humboldt Current system. **Journal of Plankton Research**, [S.I.], v. 32, n. 6, p. 843-855, 2010.

ODEBRECHT, C.; ABREU, P. C.; MÖLLER, O. O.; NIENCHESKI, L. F.; PROENÇA, L. A.; TORGAN, L. C. Drought effects on pelagic properties in the shallow and turbid Patos Lagoon, Brazil. **Estuaries**, [S.I.], v. 28, n. 5, p. 675-685, 2005.

OLIVEIRA, D. B. F.; ESKINAZI-LEÇA, E.; KOENING, M. L. Microfitoplâncton da Baía de Mangunça (Estado do Maranhão- Brasil). **Boletim Técnico EMPARN**, [S.I.], v. 15, n. 30, 1986.

OLIVEIRA, D. B. F.; LIMA, C. J. Composição e variação sazonal do microfitoplâncton da região de Maxaranguape (Rio Grande do Norte-Brasil). In: ENCONTRO BRASILEIRO DE PLÂNCTON, 4, 1991, Recife. **Anais...** Recife, 1991. p. 199-220.

OLIVEIRA, T. S.; BARCELLOS, R. L.; SCHETTINI, C. A. F.; CAMARGO, P. B. Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife, PE, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, [S.I.], v. 14, n. 3, p. 399-411, 2014.

PADISÁK, J.; BORICS, G.; FEHÉR, G.; GRIGORSZKY, I.; OLDAL, I.; SCHMIDT, A.; ZÁMBÓNÉ-DOMA, Z. Dominant species, functional assemblages and frequency of equilibrium phases in late summer phytoplankton assemblages in Hungarian small shallow lakes. **Hydrobiologia**, [S.I.], v. 502, p. 157–168, 2003.

PADISÁK, J.; CROSSETTI, L. O.; NASELLI-FLORES, L. Use and misuse in the

- application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. **Hydrobiologia**, [S.I.], v. 621, p. 1-19, 2009.
- PAERL, H. W.; JUSTIC, D. Estuarine phytoplankton. pp. 85-110. In: Day Jr. et al. (Eds.). **Estuarine ecology**. Wiley-Blackwell. 2013.
- PAERL, H. W.; PAUL, V. J. Climate change: Links to global expansion of harmful cyanobacteria. **Water Research**, [S.I.], v. 46, p. 1349-1363, 2012.
- PAERL, H. W.; ROSSIGNOL, K. L.; NATHAN HALL, S.; PEIERLS, B. L.; WETZ, M. S. Phytoplankton community indicators of short- and long-term ecological change in the anthropogenically and climatically impacted Neuse River Estuary, North Carolina, USA. **Estuaries and Coasts**, [S.I.], v. 33, p. 485-497, 2010.
- PARANAGUÁ, M. N.; NEUMMAN-LEITÃO, S.; NOGUEIRA-PARANHOS, J. D.; SILVA, T. A.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Cladocerans (Branchiopoda) of a tropical estuary in Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, [S.I.], v. 65, n. 1, p. 107-115, 2005.
- PAREDES, A.; MONTECINO, V. Size diversity as an expression of phytoplankton community structure and the identification of its patterns on the scale of fjords and channels. **Continental Shelf Research**, [S.I.], v. 31, p. 272-281, 2011.
- PASSAVANTE, J. Z. O. Contribuição ao estudo dos dinoflagelados da Plataforma Continental de Pernambuco-Brasil. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 14, p. 31-54, 1979.
- PASSAVANTE, J. Z. O.; FEITOSA, F. A. N. Dinâmica da produtividade fitoplanctônica na zona costeira marinha. pp. 425-440. In: Eskinazi-Leça, E.; Neumann-Leitão, S.; Costa, M. F. (org.). **Oceanografia: um cenário tropical**. Recife: Edições Bagaço. 2004.
- PASSAVANTE, J. Z. O.; KOENING, M. L. Estudo ecológico da região de Itamaracá, Pernambuco-Brasil. XXVI. Clorofila *a* e material em suspensão no estuário do rio Botafogo. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 18, p. 207-230, 1984.
- PASSAVANTE, J. Z. O.; KOENING, M. L.; ESKINAZI-LEÇA, E. Dinoflagelados da plataforma continental do Ceará. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 17, p. 47-66, 1982.
- PASSAVANTE, J. Z. O.; SILVA, T. L.; FIGUEIREDO, L. G. P. Variação diurna da biomassa fitoplanctônica ocorrente na zona de surf da praia de Candeias, Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 3, 2008, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: CBO, 2008.
- PASSAVANTE, J. Z.O. Estudo ecológico da região de Itamaracá, Pernambuco-Brasil. XIX. Biomassa do nano e microfítoplâncton do Canal de Santa Cruz. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 16, p. 105-156, 1981.

- PÉRAGALLO, H.; PÉRAGALLO, M. **Diatomées marines de France et des districts maritimes voisins**. Paris, M.J. Tempère. 1897-1908.
- PEREZ, M. C.; MAIDANA, N. I.; COMAS, A. Phytoplankton composition of the Ebro River estuary, Spain. **Acta Botanica Croatica**, [S.I.], v. 68, n. 1, p. 11–27, 2009.
- PIELOU, E. C. **Mathematical ecology**. New York: Wiley, 1967.
- PINCKNEY, J. L.; PAERL, H. W.; HARRINGTON, M. B.; HOWE, K. E. Annual cycles of phytoplankton community-structure and bloom dynamics in the Neuse River Estuary, North Carolina. **Marine Biology**, [S.I.], v. 131, p. 371-381, 1998.
- PINTO, T. S.; BECKER, V. Diel dynamic of phytoplankton functional groups in a tropical water supply, Extremoz Lake, northeastern Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, [S.I.], v. 26, n. 4, p. 356-366, 2014.
- POPOVICH, C. A.; MARCOVECCHIO, J. E. Spatial and temporal variability of phytoplankton and environmental factors in a temperate estuary of South America (Atlantic coast, Argentina). **Continental Shelf Research**, [S.I.], v. 28, p. 236–244, 2008.
- PRESCOTT, G. W. **How to know the freshwater algae**. Dubuque: Wm. C. Brown, 1978. 293p.
- QIU, D.; HUANG, L.; ZHANG, J.; LIN, S. Phytoplankton dynamics in and near the highly eutrophic Pearl River Estuary, South China Sea. **Continental Shelf Research**, [S.I.], v. 30, p. 177–186, 2010.
- QUINLAN, E. L.; PHILIPS, E. J. Phytoplankton assemblages across the marine to low-salinity transition zone in a blackwater dominated estuary. **Journal of Plankton Research**, [S.I.], v. 29, n. 5, p. 401-416, 2007.
- RAPÔSO, L. A. B. **Variação diurna do plâncton na Baía de Tamandaré – Pernambuco – Brasil**. 1979. 51 f. Monografia (Ciências Biológicas) – CCB, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1979.
- REAVIE, E. D.; JICHA, T. M.; ANGRADI, T. R.; BOLGRIEN, D. W.; HILL, B. H. Algal assemblages for large river monitoring: Comparison among biovolume, absolute and relative abundance metrics. **Ecological Indicators**, [S.I.], v. 10, p. 167–177, 2010.
- REYNOLDS, C. S. **Ecology of phytoplankton**. Cambridge, Cambridge University Press. 2006.
- REYNOLDS, C. S. **Vegetation processes in the pelagic**: a model for ecosystem theory. 9. Oldendorf: Ecology Institute, 1997. 371p.
- REYNOLDS, C. S.; HUSZAR, V. L. M.; KRUK, C.; NASELLI-FLORES, L.;

- MELO, S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. **Journal of Plankton Research**, [S.I.], v. 24, n. 5, p. 417–428, 2002.
- RIBEIRO DE QUEIROZ, A.; KOENING, M. L.; GASPAR, F. L. Cell biovolume and biomass in carbon of microphytoplankton species of oceanic regions, equatorial Atlantic. **Tropical Oceanography**, Recife, v. 42, n. 2, p. 131-144, 2014.
- RIBEIRO, C. H. A., ARAÚJO, M. Mathematical modelling as a management tool for water quality control of the tropical Beberibe estuary, NE Brazil. **Hydrobiologia**, [S.I.], v. 475/476, p. 229–237, 2002.
- RODRIGUES, E. I.; CUTRIM, M. V. J. Relações entre as variáveis físicas, químicas e fitoplanctônicas de três áreas estuarinas da costa norte do Brasil – São José de Ribamar, Cedral e Cajapió, MA. **Arquivos de Ciências do Mar**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 45-54, 2010.
- ROSEVEL DA SILVA, M.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; FEITOSA, F. A. N. Distribuição da flora planctônica na confluência estuarina dos rios Ilhetas e Mamucaba, relacionada com algumas variáveis ambientais (Tamandaré, Pernambuco, Brasil). In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 4, 2004a, Recife. **Anais eletrônicos...** Recife: UFRPE, 2004a. CD-ROM.
- ROSEVEL DA SILVA, M.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; FEITOSA, F. A. N.; MUNIZ, K. Estrutura da comunidade fitoplanctônica na baía de Tamandaré (Pernambuco, nordeste do Brasil). **Tropical Oceanography**, Recife, v. 33, n. 2, p. 163-181, 2005.
- ROSEVEL SILVA, M.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; FEITOSA, F. A. N. Diversidade e riqueza de espécies da flora planctônica na Baía de Tamandaré, Litoral Sul de Pernambuco, Brasil. **Revista Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 71, n. 2, 2004b.
- SABETTA, L.; FIOCCAA, A.; MARGHERITIA, L.; VIGNESA, F.; BASSETA, A.; MANGONIB, O.; CARRADAB, G. C.; RUGGIERIC, N.; IANNIC, C. Body size and abundance distributions of nano- and microphytoplankton guilds in coastalmarine ecosystems. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [S.I.], v. 63, p. 645-663, 2005.
- SALMASO, N.; PADISAK, J. Morpho-functional groups and phytoplankton development in two deep lakes (Lake Garda, Italy and Lake Stechlin, Germany). **Hydrobiologia**, [S.I.], v. 578, p. 97-112, 2007.
- SANTIAGO, M. F. **Dinâmica e interações das comunidades planctônicas na Bacia Portuária do Recife (Pernambuco-Brasil)**. 2010. 180 f. Tese (Doutorado em Oceanografia) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.
- SANTIAGO, M. F. **Ecologia do fitoplâncton de um ambiente tropical hipersalino (Rio Pisa Sal, Galinhos, Rio Grande do Norte, Brasil)**. 2004. 131 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

SANTIAGO, M. F.; SILVA, M. H.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; KOENING, M. L.; ESKINAZI-LEÇA, E.; BORGES, G. C. P.; LIMA, J. C.; LIMA, E. P.; MENDEZ, U. Â. Avaliação qualitativa do fitoplâncton em ambiente aquático marinho com influência do porto de Suape, Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 4, 2010, Rio Grande. **Anais...** Rio Grande: CBO, 2010b.

SANTIAGO, M. F.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; NEUMANN-LEITÃO, S.; COSTA, K. M. P.; BORGES, G. C. P.; PORTO NETO, F. F.; NUNES, F. S. Phytoplankton dynamics in a highly eutrophic estuary in tropical Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, São Paulo, v. 58, n. 3, p. 189- 205, 2010a.

SANTOS, D. H. C.; PASSAVANTE, J. Z. O.; BARROS, D. C. P. Biomassa fitoplanctônica na praia de Candeias, Pernambuco (Brasil): a construção de um quebra-mar como agente transformador. **Boletim Técnico Científico**, Tamandaré, v. 15, n. 1, p. 21-29, 2007.

SANTOS, T. G.; BEZERRA-JUNIOR, J. L.; COSTA, K. M. P.; FEITOSA, F. A. N. Dinâmica da biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais em um estuário tropical (Bacia do Pina, Recife, PE). **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, Recife, v. 4, n. 1, 2009.

SANTOS, V. S.; VILLAC, M. C.; TENEMBAUM, D. R.; PARANHOS, R. Auto- and heterotrophic nanoplankton and filamentous bacteria of Guanabara Bay (RJ, Brazil): Estimates of cell/filamentous numbers versus carbon content. **Brazilian Journal of Oceanography**, [S.I.], v. 55, n. 2, p. 133-143, 2007.

SANTOS-FERNANDES, T. L.; PASSAVANTE, J. Z. O.; KOENING, M. L.; MACEDO, S. J. Fitoplâncton do estuário do rio Jaguaribe (Itamaracá, Pernambuco, Brasil): Biomassa. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 26, n. 2, p. 1-18, 1998.

SARDEIRO, M. S. **Distribuição das diatomáceas (Bacillariophyceae) na plataforma continental dos Estados de Alagoas e Sergipe (Brasil)**. 1982. 165 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1982.

SARDEIRO, M. S.; ESKINAZI-LEÇA, E. Distribuição das diatomáceas (Bacillariophyceae) na plataforma continental do Estado de Alagoas e Sergipe (Brasil). Sociedade Botânica do Brasil, Recife. In: **Anais ...Reunião Nordestina de Botânica**, 8, p. 33-56, 1984.

SASSI, R. Phytoplankton and environmental factors in the Paraíba do Norte river estuary, Northeastern Brazil: composition, distribution and quantitative remarks. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, São Paulo, v. 39, n. 2, p. 93-115, 1991.

SASSI, R.; VELOSO, T. M. G.; MELO, G. N.; MOURA, G. F. Variações diurnas do fitoplâncton e de parâmetros hidrológicos em recifes costeiros do nordeste do Brasil. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE PLÂNCTON, 4, 1991, Recife. **Anais...** Recife, 1991. p. 61-96.

SATO, S.; PARANAGUA, M. N.; ESKINAZI, E. On the mechanism of red tide of *Trichodesmium* in Recife Northeastern Brazil, with some considerations of the relation to the human disease, "Tamandaré fever". **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 5/6, p. 7-49, 1963/64.

SEOANE, S.; LAZA, A.; ORIVE, E. Monitoring phytoplankton assemblages in estuarine waters: The application of pigment analysis and microscopy to size-fractionated samples. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [S.I.], v. 67, p.343-354, 2006.

SHANNON C. E. A mathematical theory of communication. **Bulletin of System Technology Journal**, [S.I.], v. 27, p. 379-423, 1948.

SILVA CUNHA, M. G. G. **Estrutura e dinâmica da flora planctônica no Canal de Santa Cruz – Itamaracá – Pernambuco – Nordeste do Brasil**. 2001.246 f. Tese (Doutorado em Oceanografia Biológica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2001.

SILVA CUNHA, M. G. G.; ESKINAZI-LEÇA, E. **Catálogo das diatomáceas (Bacillariophyceae) da plataforma continental de Pernambuco**. Recife, SUDENE-DPG/PRN/RPE, UFPE- Departamento de Oceanografia, 1990.

SILVA, A. P. C. **Biomonitoramento da qualidade da água e percepção ambiental na bacia hidrográfica Apodi-Mossoró, RN**. 2013. 101 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN, 2013.

SILVA, J. B.; GALVÍNCIO, J. D.; CORRÊA, A. C. B.; SILVA, D. G.; MACHADO, C. C. C. Classificação geomorfológica dos estuários do estado de Pernambuco (Brasil) com base em imagens do LANDSAT 5/TM. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.I.], v. 1, p. 118-133, 2011.

SILVA, L. H. S. Fitoplâncton de um reservatório eutrófico (lago Monte Alegre), Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, [S.I.], v. 59, n. 2, p. 281-303, 1999.

SILVA, M. A. M.; SOUZA, M. F. L.; ABREU, P. C. Spatial and temporal variation of dissolved inorganic nutrients, and chlorophyll *a* in a tropical estuary in Northeastern Brazil: dynamics of nutrient removal. **Brazilian Journal of Oceanography**, São Paulo, v. 63, n. 1, p. 1-15, 2015.

SILVA, M. G. G. Diatomáceas (Bacillariophyceae) da Plataforma Continental de Pernambuco-Brasil. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 17, p. 7-46, 1982.

SILVA, T. A.; PARANAGUÁ, M. N.; NEUMANN-LEITÃO, S.; NOGUEIRA PARANHOS, J. D. Zooplâncton do estuário do rio Capibaribe, Recife-Pernambuco (Brasil). **Tropical Oceanography**, Recife, v. 24, p. 79-102, 1996.

SILVA-CUNHA, M. G. G.; ESKINAZI-LEÇA, E.; ALMEIDA, C. D. P. Taxonomia e ecologia do microfitoplâncton do estuário do rio Timbó (Pernambuco-Brasil).

Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, v. 20, p. 35-52, 1987/89.

SMAYDA, T. J.; REYNOLDS, C. S. Community assemblages in marine phytoplankton application of recent models to harmful dinoflagellate blooms. **Journal of Plankton Research**, [S.I.], v. 23, p. 447– 461, 2001.

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

SOURNIA, A. **Atlas du phytoplancton marine**: introduction, Cyanophycées, Dictyochophycées, Dinophycées et Raphidophycées. Paris: Centre National de la Recherche Scientifique, 1986. 220 p.

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

SOUZA, J. S. D. **Diversidade e distribuição vertical do fitoplâncton na região de Abrolhos, sul da Bahia (Inverno de 2007)**. 2010. 68 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Aquáticos Tropicais) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2010.

SOUZA, M. R. M.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; FLORES-MONTES, M. J.; NEUMANN-LEITÃO, S.; MOURA, M. C. O.; CHAMIXAES LOPEZ, C. C. B. Hidrologia e fitoplâncton do sistema estuarino do rio São Francisco, Nordeste do Brasil. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 27, n. 1, p. 15-31, 1999.

SRH – Secretaria de recursos hídricos do estado de Pernambuco. **Plano hidroambiental da bacia hidrográfica do rio Capibaribe**: Resumo executivo/ Projetos técnicos. Recife, 2010. 98 p.

STATSOFT. **Statistica**: data analysis software system, version 7. 2004.

STRICKLAND, J. D. H., PARSONS, T. R. A practical handbook of seawater analysis. **Bulletin Fisheries Research Board of Canada**, [S.I.], v. 167, p. 1-205, 1972.

SUN, J.; LIU, D. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. **Journal of Plankton Research**, [S.I.], v. 25, p. 1331- 1346, 2003.

TAHIM, E. F.; LIMA VERDE, N. G.; ESKINAZI-LEÇA, E. Florescimento de algas planctônicas na praia do Futuro (Fortaleza-CE). In: ENCONTRO BRASILEIRO DE PLÂNCTON, 4, 1991, Recife. **Anais...** Recife, 1991. p.117-122.

TAS, S.; YILMAZ, I. N.; OKUS, E. Phytoplankton as an indicator of improving water quality in the Golden Horn Estuary. **Estuaries and Coasts**, [S.I.], v. 32, p. 1205-1224, 2009.

TIBÚRCIO, A. S. X. S. **Distribuição anual das diatomáceas em região estuarina**

tropical: Itamaracá-Pernambuco-Brasil. 2011. 104 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

TIBURCIO, A. S. X. S.; KOENING, M. L.; MACEDO, S. J.; MELO, P. A. M. C. A Comunidade microfitoplanctônica do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (Atlântico Norte - Equatorial): Variação diurna e espacial. **Biota Neotropica**, [S.I.], v. 11, n. 2, p. 203-215, 2011.

TOMAS, C. R. **Identifying marine phytoplankton.** San Diego: Academic Press, 858p., 1997.

TORGAN, L. C.; BARREDA, K. A.; FORTES, D. F. Catálogo das algas Chlorophyta de águas continentais e marinhas do Rio Grande do Sul. **Iheringia, Série Botânica**, [S.I.], v. 56, p. 147-182, 2001.

TORGAN, L. C.; BECKER, V.; RODRIGUES, S. C. Volume celular de espécies fitoplanctônicas da Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil. **Biociências**, [S.I.], v. 6, n. 1, p. 183-186, 1998.

TRAVASSOS, P. E. P. F. **Hidrologia e biomassa primária do fitoplancton no estuário do rio Capibaribe, Recife – Pernambuco.** Tese de Dourorado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, 1991. 287 p.

TRAVASSOS, P. E. P.; MACÊDO, S. J.; KOENING, M. L. Aspectos hidrológicos do estuário do rio Capibaribe (Recife-Pernambuco). **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 22, p. 9-38, 1991/1993.

TRIGUEROS, J. M.; ORIVE, E. Tidally driven distribution of phytoplankton blooms in a shallow, macrotidal estuary. **Journal of Plankton Research**, [S.I.], v. 22, n. 5, p. 969–986, 2000.

UNESCO. **Determination of photosynthetic pigments in sea waters.** Report of SCOR/UNESCO working group 17 with meat from 4 to 6 June 1964, Paris: S.N., 1966. 69 p. (Monographs on Oceanology Methodology).

UTERMÖHL, H. Zur vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton Methodik. **Mitteilung Internationale Vereinigung für Theoretische Angewandte Limnologie**, [S.I.], v. 9, p. 68-72, 1958.

VADRUCCI, M. R.; CABRINI, M.; BASSET, A. Biovolume determination of phytoplankton guilds in transitional water ecosystems of Mediterranean Ecoregion. **Transitional Waters Bulletin**, [S.I.], v. 2, p. 83-102, 2007.

VERITY, P. G.; ROBERTSON, C. Y.; TRONZO, C. R.; ANDREWS, M. G.; NELSON, J. R.; SIERACKI, M. E. Relationships between cell volume and the carbon and nitrogen content of marine photosynthetic nanoplankton. **Limnology and Oceanography**, [S.I.], v. 37, p. 1434-1446, 1992.

VILLATE, F.; IRIARTE, A.; URIARTE, I.; INTXAUSTI, L.; DE LA SOTA, A. Dissolved oxygen in the rehabilitation phase of an estuary: Influence of sewage

pollution abatement and hydro-climatic factors. **Marine Pollution Bulletin**, [S.I.], v. 70, p. 234–246, 2013.

VILHENA, M. P. S. P.; COSTA, M. L.; BERRÊDO, J. F.; PAIVA R. S.; ALMEIDA, D. Chemical composition of phytoplankton from estuaries of Eastern Amazonia. **Acta Amazonica**, [S.I.], v. 44, n. 4, p. 513-526, 2014.

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

ZAR, J. H. Biostatistical analysis. Prentice Hall, New Jersey. 1996.

ZHAO, J.; FENG, X.; SHI, X.; BAI, Y.; YU, X.; SHI, X.; ZHANG, W.; ZHANG, R. Sedimentary organic and inorganic records of eutrophication and hypoxia in and off the Changjiang Estuary over the last century. **Marine Pollution Bulletin**, [S.I.], v. 99, n. 1/2, p. 76-84, 2015.