Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro Biomédico

Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes

Louise Medeiros Fonseca da Silva

Abordagem de grupos funcionais no estudo da dinâmica fitoplanctônica da Lagoa de Marapendi, Complexo Lagunar de Jacarepaguá, RJ.

Rio de Janeiro

2012

Louise Medeiros Fonseca da Silva

Abordagem de grupos funcionais no estudo da dinâmica fitoplanctônica da Lagoa de Marapendi, Complexo Lagunar de Jacarepaguá, RJ.

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós Graduação em Biologia Vegetal do Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Marcelo Manzi Marinho

Coorientadora: Lúcia Helena Sampaio da Silva

Rio de Janeiro

2012

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC-A

S586 Silva, Louise Medeiros Fonseca da.
Abordagem de grupos funcionais no estudo da dinâmica Fitoplanctônica da Lagoa de Marapendi, Complexo lagunar de Jacarepaguá, RJ/ Louise Medeiros Fonseca da Silva. - 2012.
83 f. : il.

Orientadora: Marcelo Manzi Marinho
Coorientador: Lúcia Helena Sampaio da Silva
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia Roberto Alcantara Gomes.
1. Fitoplancton - Teses. 2. Fitoplancton – Morfologia (Biologia) – Teses. I. Marinho, Marcelo Manzi. II. Silva, Lúcia Helena Sampaio. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Biologia Roberto Alcantara Gomes. IV. Título.

CDU 574.583

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação.

_____ _____
Assinatura Data

Louise Medeiros Fonseca da Silva

Abordagem de grupos funcionais no estudo da dinâmica fitoplanctônica da Lagoa de Marapendi, Complexo Lagunar de Jacarepaguá, RJ.

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós Graduação em Biologia Vegetal do Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovado em 27 de fevereiro de 2012

Banca Examinadora:

_____
Prof. Dr. Marcelo Manzi Marinho – Professor orientador
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes - UERJ

_____
Profª Dra. Lucia Helena Sampaio da Silva – Professora co-orientadora
Museu Nacional - UFRJ

_____
Prof. Dr. Sebastião José da Silva
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes - UERJ

_____
Dra. Patrícia Domingos
Instituto Estadual do Ambiente - INEA

_____
Profª Dra. Marina Satika Suzuki
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, meu agradecimento a Deus, pelas oportunidades que me foram dadas, pelas pessoas que cruzaram meu caminho, por cada ato de minha vida e por sua inquestionável presença;

Ao professor Marcelo Manzi Marinho, pela confiança depositada, ensinamentos, e pelos tão oportunos cafés compartilhados;

À professora Lucia Helena Sampaio da Silva, pela competência, paciência e auxílio inquestionável em todos os momentos necessários;

Ao mestre e amigo Nicácio, por ter sido aquele que primeiro despertou em mim o amor à biologia, e em quem preciosos ensinamentos sempre se fazem presentes;

Ao Laboratório de Ficologia do Museu Nacional (LabFico) pela infra estrutura e tantos integrantes que possibilitaram a identificação das espécies;

À amiga Ricceli, pela amizade, parceria e alegria, sem a qual este caminho teria sido muito mais cansativo;

Aos meus pais, à minha avó Janette, Helga e à minha tão amada bisavó, pelos auxílios, orientações e orações;

Ao Thiago, por ser um dos motivos que me impulsionam, pela compreensão, amor e incansável ajuda à minha vida acadêmica;

E a todos que de alguma maneira fizeram parte da minha vida contribuindo de alguma forma para a concretização deste trabalho.

Quão pouco tempo é preciso para mudar todas as coisas!
Natureza de fonte serena, com que facilidade te esqueces.

Hugo, Victor

RESUMO

SILVA, Louise Medeiros Fonseca da. *Abordagem de grupos funcionais no estudo da dinâmica Fitoplanctônica da Lagoa de Marapendi, Complexo lagunar de Jacarepaguá, RJ.* 2012. 74f. Dissertação Mestrado em Biologia Vegetal - Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

A Lagoa de Marapendi é uma lagoa eutrófica do complexo lagunar de Jacarepaguá, Rio de Janeiro. Como conseqüência ao constante e acelerado processo de eutrofização vigente, houve uma mudança na estrutura de sua comunidade fitoplanctônica, o que pode ter um importante significado para diversos componentes do ecossistema, além de inviabilizar diversos usos. Este estudo visou reconhecer os padrões espaciais e temporais do fitoplâncton, identificando os fatores controladores e direcionadores da comunidade, através da comparação entre as abordagens dos grupos taxonômicos e dos grupos funcionais. Foram coletadas amostras mensais em 4 pontos ao longo da lagoa no decorrer do ano de 2008. A análise florística revelou a presença de 45 táxons pertencentes às classes Cyanophyceae, Cryptophyceae, Chlorophyceae, Bacillariophyceae e Dinophyceae. Estes foram alocados em 10 grupos funcionais (GF) *sensu* Reynolds (H1, K, M, S1, X1, X2, J, C, MP e Y) e em 6 grupos funcionais baseados na morfologia (MBFG). Os dados de biomassa para todas as abordagens testadas foram comparados, juntamente com as variáveis abióticas, através de análises multivariadas de redundância (RDA). A abordagem de GF mostrou ser mais rica em detalhes, evidenciando diferentes estratégias adaptativas de grupos ecológicos de cianobactérias. Contudo, para ambientes eutróficos, rasos e com poucas espécies, tal qual a Lagoa de Marapendi, a utilização da abordagem de MBFG mostra ser mais adequada devido à sua simplicidade de utilização, aliada à boa capacidade de explicação da dinâmica fitoplanctônica.

Palavras-chave: Lagoas Costeiras. Fitoplâncton. Grupos Funcionais.

ABSTRACT

The Marapendi lagoon is an eutrophic lagoon of the Jacarepaguá lagoon system, Rio de Janeiro. As a result of the constant and accelerated process of eutrophication in effect, there was a change in the structure of its phytoplankton community, whitc may have an important meaning for the various components of the ecosystem, as well as preclude different uses. The present study aimed to recognize the temporal and spatial patterns of phytoplankton, identifying the controlling and directioning factors of the community, by comparing the approaches of taxonomic groups and functional groups. Monthly samples were collected at 4 points along the lagoon during the 2008 year. The floristic analysis revealed the presence of 45 taxa belonging to Cyanophyceae, Cryptophyceae, Chlorophyceae, Bacillariophyceae and Dinophyceae classes. These were allocated into 10 functional groups (GF) sensu Reynolds (H1, K, M, S1, X1, X2, J, C, MP and Y) and in 6 morphology based functional groups (MBFG). The biomass data for all approaches tested were compared with the abiotic variables trough multivariate redundancy analysis (RDA). The GF approach proved to be richer in detail, showing different adaptive strategies of cyanobacteria ecological groups. However, in eutrophic and shallow environments with few species, like the Marapendi lagoon, the use of MBFG approach proves to be more suitable due to its use simplicity combined with the good ability to explain the phytoplankton dynamics.

Keywords: Coastal Lagoons. Phytoplankton. Functional Groups.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista Panorâmica do Complexo Lagunar de Jacarepaguá. 24

Figura 2 - Mapa da Área de Estudo contendo os pontos amostrais .. 26

Figura 3 - Gráficos de Isolinhas de Temperatura da Água dos pontos MAR 1, MAR 2, MAR 3 e MAR 4. 34

Figura 4 - Gráfico de Isolinhas da Salinidade (ppt) dos pontos MAR 1, MAR 2, MAR 3 e MAR 4..... 35

Figura 5 - Gráfico da Zona Eufótica (Zeu) (m) e Profundidade Máxima (m) dos pontos amostrais.. 36

Figura 6 - Gráfico de Transparênciada coluna d'água (barras) comparada à transparência média e biomassa total por ponto amostral. 37

Figura 7 - Gráfico de Isolinhas de Taxa de Oxigênio Dissolvido dos pontos MAR 1, MAR 2, MAR 3 e MAR 4. 38

Figura 8 - Variação mensal dos perfis verticais de pH dos pontos MAR 1, MAR 2, MAR 3 e MAR 4..... 39

Figura 9 - Variabilidade temporal e espacial da concentração de nutrientes (nitrato, Íon amônio, nitrito e ortofosfato). 40

Figura 10 - Variação temporal da Radiação (KJ/m2) e Precipitação total anual (mm) na área de estudo em dados diários do ano de 2008 41

Figura 11 - Temperatura máxima, mínima e média do ar (ºC) e pluviosidade anual (mm). 42

Figura 12 - Diagrama de ordenação das amostras da Lagoa de Marapendi nos dois primeiros eixos da PCA..... 42
Figura 13 - Contribuição Percentual das Classes Algais Registradas .. 43
Figura 14 Prancha 1 - Táxons Representantes de Cianobactérias e Chlorophyceae 45
Figura 14 Prancha 2 - Táxons Representantes de Chlorophyceae e Xanthophyceae 46
Figura 14 Prancha 3 - Táxons Representantes de Bacillariophyceae e Dinophyceae 47
Figura 15 - Variabilidade temporal e espacial da concentração de clorofila *a* 48
Figura 16 - Variabilidade Temporal da Contribuição Percentual e Biomassa total das Classes Taxonômicas nas quatro estações de coletas. 51
Figura 17 - Variabilidade Temporal da Contribuição Percentual e Biomassa dos Grupos Funcionais nas quatro estações de coletas. 54
Figura 18 - Variabilidade Temporal da Contribuição Percentual e Biomassa dos Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFG), nas quatro estações de coletas..... 56
Figura 19 - RDA das Classes Taxonômicas. 58
Figura 20 - RDA dos Grupos Funcionais. 59
Figura 21 - RDA dos Grupos Funcionais Baseados na Morfologia..... 60
Figura 22 - Dinâmica fitoplanctônica da Lagoa de Marapendi e seus principais fatores direcionadores..... 72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características dos principais Grupos Funcionais encontrados na Lagoa de Marapendi no período de estudo 31

Quadro 2 - Valores Médios da concentração de nutrientes..... 40

Quadro 3 - Valores Médios da Concentração de Clorofila a por Ponto Amostral. 49

Quadro 4 - Variação da Biomassa Fitoplanctônica (mg/L^{-1}) 50

Quadro 5 - Grupos Funcionais Encontrados na Lagoa de Marapendi. 52

Quadro 6 - Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFG) Encontrados na Lagoa de Marapendi. 55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Localização dos pontos amostrais na Lagoa de Marapendi, RJ. 27

Tabela 2 - Variação de temperatura (ºC) da água na sub-superfície. 33

Tabela 3 - Variação de Salinidade (ppt) na sub-superfície dos pontos amostrais 35

Tabela 4 - Variação da transparência nos pontos amostrais..... 36

Tabela 5 - Variação de oxigênio dissolvido (mg L-1) da água na sub-superfície. 37

Tabela 6 - Variação de pH da água na sub- superfície dos pontos amostrais. 39

Tabela 7 - Variação da concentração anual de clorofila-a (µg l^{-1}) nos pontos amostrais. 48

Tabela 8 - Valores de Correlação Entre as Matrizes Biológicas e Explicadoras. 57

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....14

1 **CONSIDERAÇÕES GERAIS**.....14

2 **A EUTROFIZAÇÃO DA LAGOA DE MARAPENDI** 16

3 **DA ABORDAGEM DOS GRUPOS FUNCIONAIS DO FITOPLANCTON** 19

4 **OBJETIVOS** 23

4.1 **Objetivos Específicos** 23

5 **METODOLOGIA**.....24

5.1 **Área De Estudo** 24

5.2 **Coleta e Preservação das Amostras** 26

5.3 **Coleta de Dados**.....27

5.4 **Análise das Amostras** 27

5.4.1 Clorofila-*a* 28

5.4.2 Nutrientes 28

5.4.3 Análise da Comunidade Fitoplanctônica.....29

5.5 **Análise dos dados** 30

5.5.1 Biovolume Fitoplanctônico 30

5.5.2 Grupos Funcionais (GF) 30

5.5.3 Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFG).....31

5.6 **Análises Estatísticas** 32

6 **RESULTADOS** 33

6.1 **Variáveis Limnológicas** 33

6.1.1 Temperatura da Água 33

6.1.2 Salinidade 34

6.1.3 Transparência 36

6.1.4 Oxigênio dissolvido 37

6.1.5 pH 38

6.1.6 Nutrientes 40

6.2 **Regime Físico e Químico** 41

6.3 **Comunidade Fitoplanctônica** 43

6.3.1 Composição Florística 43

6.3.2 Biomassa 47

6.3.2.1 Clorofila-*a* 47

6.3.2.2 Biomassa Fitoplanctônica Total 49

6.3.2.3 Contribuição das diferentes Classes Taxonômicas para a Biomassa Fitoplanctônica Total 50

6.3.2.4. Grupos Funcionais 51

6.3.2.4.1 Contribuição dos Diferentes Grupos Funcionais para a Biomassa Fitoplanctônica Total 53

6.3.2.5 Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFG) 54

6.3.2.5.1 Contribuição dos Diferentes Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFG) para a Biomassa Fitoplanctônica Total 55

6. 4 **Correlações entre a Comunidade Fitoplanctônica e as Variáveis Ambientais 57**

7 **DISCUSSÃO..... 61**

7.1 **Dinâmica das Variáveis Abióticas e sua Influência sobre o Fitoplâncton.....61**

7.2 **Dinâmica do Fitoplâncton 64**

8 **CONCLUSÕES.....73**

9 **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 75**

INTRODUÇÃO

1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

As lagoas costeiras são ambientes comuns ao redor de todo o globo (SCHETTINI, 2008), e que no Brasil ocorrem ao longo de toda a costa (ESTEVES 1998a).

Sua gênese costuma ser vinculada aos processos transgressivos e regressivos do mar, que ocorreram a partir do Pleistoceno e se prolongaram até o Holoceno, de forma que até os dias atuais, muitas destas encontram-se interligadas por canais, formando um extenso colar de lagoas próximo ao mar (SUGUIO e TESSLER, 1993).

Estes corpos aquáticos podem conter desde água doce até águas hipersalinas, dependendo das proporções relativas do influxo de água doce, entrada de água salgada pelo canal de maré e evaporação (SILVA, 2006; SILVA *et al.*, 2007). Constituem uma interseção entre os ambientes marinho, terrestre e dulcícola, que caracterizam-se por serem rasos e por sofrerem forte ação dos ventos, fatores que, geralmente, levam a promover uma maior homogeneidade da coluna d'água (ESTEVES 1998a; KJERFVE, 1994).

As lagoas costeiras constituem ambientes importantes ecológica e economicamente, pois não só estão entre os ecossistemas mais produtivos do mundo, com elevadas biomassas auto e heterotrófica, mas também possuem significativa importância no uso para aquacultura e recreação (ESTEVES, 1998a; ESTEVES *et al.*, 2008; SPAULDING, 1994).

Não obstante a sua grande importância e usos múltiplos, as lagoas costeiras são consideradas um dos ecossistemas que mais sofrem impactos antrópicos. Dentre os principais impactos sofridos pelas lagoas estão: o lançamento de efluentes domésticos e/ou industriais, aterros e edificações nas margens, assoreamento da bacia hidrográfica, degradação da vegetação do entorno, introdução de espécies exóticas, dentre outras (ESTEVES, 1998a).

No Brasil, os processos de ocupação tem se dado de forma mais intensa em regiões costeiras, ocasionando uma grande pressão antrópica e consequentemente uma aceleração nos processos de degradação dos ecossistemas costeiros (SILVA, 2006). A grande concentração humana que costuma caracterizar estas regiões, dada dentre outros fatores pela sua fonte de alimento e possibilidade de recreação, faz com que a urbanização aí tenha se acelerado, causando perturbações muitas vezes irreversíveis e, em geral, acompanhadas de problemas socioeconômicos (BARROSO *et al.*, 2000).

Um dos principais problemas decorrentes da ocupação desordenada é o contínuo lançamento de despejos de origem doméstica, que vem acelerando o processo de eutrofização, bem como a existência de obras indevidas que reduzem a comunicação com o mar, levando à diminuição do espelho d'água das lagoas e acelerando modificações significativas na composição de suas águas (ESTEVES, 1998a; TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

O processo de eutrofização é um mecanismo natural que pode ser acelerado pela atividade antrópica, quando o ecossistema torna-se mais produtivo pelo enriquecimento de nutrientes que estimulam os produtores primários causando não só a mudança do estado trófico, como também mudanças na biomassa e nos grupos fitoplanctônicos presentes.

A composição desta comunidade fitoplanctônica e não apenas sua biomassa, relaciona-se com problemas relativos à qualidade da água, devido a sua toxicidade potencial, alterações em gosto/odor ou dificuldades no tratamento de água para abastecimento, tornando-a menos adequada ao consumo humano (REYNOLDS *et al.*, 2002).

As consequências ambientais estão associadas a florações de algas, acentuando o crescimento de macrófitas aquáticas, acumulação excessiva de matéria orgânica, problemas de mau cheiro, diminuição nos níveis de oxigênio com o aumento da profundidade, mudanças na estrutura da cadeia alimentar, incluindo a possível diminuição de espécies de peixes e outros organismos (SMOL, 2002).

A presença de cianobactérias, por exemplo, é preocupante já que um número considerável desses organismos pode ser potencialmente tóxico, podendo acarretar

problemas de saúde pública. No Brasil, estudos demonstram que 52% dos ecossistemas continentais apresentam altas percentagens de Cianobactérias e ocorrência de intensas florações, sendo essa dominância marcante em lagoas costeiras (HUSZAR e SILVA, 1999).

A degradação das condições naturais das lagoas costeiras brasileiras tem ocorrido em uma escala mais rápida do que a capacidade da sociedade, através da comunidade científica, gerar tecnologias ecológicas e economicamente viáveis que possam ser aplicadas pelos setores da sociedade que sejam competentes e interessados na recuperação destas. Mais preocupante ainda é o fato de que, embora a sociedade já tenha reconhecido a importância das lagoas costeiras para a manutenção da qualidade de vida, até então, poucas iniciativas tem sido efetivamente empregadas na implantação de medidas mitigadoras dos impactos antrópicos a que estes ambientes estão submetidos (ESTEVES, 1998a). Para a área de estudo, em setembro do ano de 2011 foi divulgado pela Secretaria Estadual do Ambiente (RJ), um projeto de recuperação ambiental do Complexo Lagunar da Barra e Jacarepaguá, que inclui a dragagem das lagoas, a construção de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), emissário submarino e implantação de redes de esgotamento sanitário (inea.rj.gov.br/noticias, acessado em 29/01/2012)

2 A EUTROFIZAÇÃO DA LAGOA DE MARAPENDI

A lagoa de Marapendi é uma lagoa eutrófica do Complexo lagunar de Jacarepaguá, Rio de Janeiro (SILVA, 2009). Esta não recebe aporte fluvial dos canais da Baixada de Jacarepaguá, e possui uma ligação com o mar, à leste, através do Canal de Marapendi. O seu volume reduzido e a baixa capacidade de renovação das suas águas contrapõem com contínuo despejo de esgoto, decorrente da falta de saneamento básico (PIMENTA, 2009).

Segundo Marqueiro (2001, *apud* PIMENTA 2009), a Baixada de Jacarepaguá conta com cerca de 180 estações de tratamento de esgoto particulares, por onde

passam aproximadamente 7,5 toneladas de esgoto doméstico por dia. Contudo, esse montante equivale apenas à cerca de 1% do total lançado.

As características morfológicas da lagoa são capazes de acentuar o processo de eutrofização vigente, uma vez que as lagoas costeiras do Complexo Lagunar de Jacarepaguá podem ser classificadas como “sufocadas” e sob estresse, por apresentarem longo tempo de residência e pouca troca de água com o mar (KJERFVE, 1994).

Como consequência do constante e acelerado processo de eutrofização, a comunidade fitoplanctônica da lagoa vem sofrendo mudanças quali e quantitativas, que incluem a ocorrência de florações de cianobactérias com a presença de espécies potencialmente tóxicas, como *Microcystis aeruginosa* (kützing) Kützing, 1846 (OLIVEIRA *et. al*., 2006). Tais alterações sofridas na estrutura da comunidade fitoplanctônica podem ter importante significado para diversos componentes do ecossistema (BRANCO & CAVALCANTE, 1999).

Além dos desequilíbrios ecológicos do ponto de vista de perda de diversidade e de alterações ao longo da cadeia trófica, as florações de Cianobactérias também podem refletir em problemas à saúde humana, devido à possibilidade de produção de metabólitos secundários (toxinas) capazes de alterar a qualidade sanitária e ambiental do ecossistema. A presença de tais toxinas em corpos aquáticos representa um problema de saúde pública, uma vez que estas, sendo altamente solúveis em meio aquoso, são reconhecidas como potentes promotores de tumores (CHORUS & BARTRAM, 1999). Outros problemas decorrentes da produção de metabólitos secundários estão relacionados às alterações nas características organolépticas da água que produzem gosto e odor desagradáveis (SANT`ANNA *et al*., 2006), de forma que tratamentos de água convencionais não apresentam eficiência na remoção total destes compostos (OLIVEIRA, 2003).

Apesar das cianobactérias terem uma grande amplitude ecológica, possuem especializações bem marcadas, que refletem sua sensibilidade às mudanças ambientais(PAERL, 1988).

Segundo Reynolds e Walbsy (1975), a dominância destes organismos depende basicamente da pré-existência de uma população de proporção significativa de

organismos com flutuabilidade positiva e da estabilidade da coluna d'água. Contudo, vários fatores são capazes de favorecer o desenvolvimento de florações de Cianobactérias, como o alto tempo de retenção das águas, concentrações elevadas de nutrientes essenciais como nitrogênio e fósforo, valores elevados de pH e temperatura, presença de estratificação da coluna d'água; presença de características que otimizem a flutuação, além da possibilidade de armazenar nutrientes, formar estruturas de resistência como heterocitos, e de secretar metabólitos secundários (SMITH & KALFF, 1983; SOMMER *et al.*, 1986; SHAPIRO, 1990; BLOMMQVIST *et al.*, 1994; GRAHAM e WILCOX, 2000; REYNOLDS, 2006).

Ainda que a consequência imediata do enriquecimento causado pela eutrofização cultural seja o rápido aumento da biomassa fitoplanctônica, normalmente dominada por cianobactérias potencialmente produtoras de cianotoxinas, este não é o único problema vivido pelo ecossistema.

De acordo com Smil (2000), a elevada concentração de algas, reduz a transparência da água, o que pode vir a resultar de forma indireta na desoxigenação da água do fundo, trazendo prejuízos econômicos para água de abastecimento urbano e de recreação.

O processo de eutrofização observado no Complexo Lagunar de Jacarepaguá vem sendo apontado há cerca de 26 anos (SAIEG-FILHO, 1986), muito embora uma década antes Semeraro e Costa (1972) já relatavam a primeira ocorrência de florações de cianobactérias, além de destacar a freqüente ocorrência de florações de dinoflagelados (*Gymnodinium* spp.) que conferiam coloração castanha às águas da Lagoa de Jacarepaguá.

Na medida em que se torna mais intenso e diversificado o uso dos lagos, mananciais e bacias hidrográficas, maior é a necessidade de se definir formas de manejo sustentado e gerenciamento destes ecossistemas. Contudo, para manejar e modificar um dado ambiente é preciso primeiramente compreendê-lo. Ou seja, compreender as estreitas relações existentes entre os parâmetros físico-químicos locais e as comunidades fitoplanctônicas presentes.

O conhecimento da dinâmica da comunidade fitoplanctônica torna-se relevante não apenas por sua importância para a produção primária do corpo d'água como

também por serem as flutuações temporais e espaciais em sua composição e biomassa indicadoras eficientes das alterações naturais ou antrópicas nos ecossistemas aquáticos (MARGALEF,1983).

3 A ABORDAGEM DOS GRUPOS FUNCIONAIS DO FITOPLÂNCTON

Na tentativa de compreender a dinâmica de um ecossistema, uma mera descrição das espécies taxonômicas ocorrentes não é de grande utilidade, pois esta pode não expressar com clareza as respostas desta comunidade às variações ambientais sofridas.

O enfoque tradicional da ecologia do fitoplâncton, baseado nas principais classes taxonômicas e espécies dominantes, é também por muitas vezes problemático, pois não só há uma dificuldade de prever a ocorrência da maioria das espécies, como há uma ambiguidade e comum sobreposição nas condições que favorecem certos grupos taxonômicos. Como alternativa, podemos considerar a abordagem dos grupos funcionais, que tem como principal objetivo contribuir para o entendimento dos padrões de distribuição e a dinâmica que rege as populações fitoplanctônicas.

Esse tipo de abordagem reduz as enormes listagens de espécies a 40 grupos de intensa afinidade ecológica (PADISÀK *et al.* 2009), que respondem a um determinado conjunto de condições ambientais em diferentes ambientes (REYNOLDS, *et al.* 2002). Tais afinidades se baseiam em atributos fisiológicos, morfológicos e ecológicos das espécies que potencialmente podem dominar ou co-dominar um sistema (REYNOLDS *et al*. 2002; REYNOLDS, 2006; PADISÁK *et al*. 2009).

As características morfológicas e fisiológicas das espécies são determinantes para o sucesso dos organismos, especialmente em relação à competição. As características morfológicas que aumentam a resistência a distúrbios são opostas às que aumentam a habilidade competitiva (MCCORMICK, 1996). Dessa forma, cada espécie fitoplanctônica possui uma combinação de características que determinam sua capacidade competitiva, e é através do estudo destas características, mas

prioritariamente, das estratégias adaptativas das espécies aos fatores “estresse” e “distúrbio” que se definem os grupos funcionais.

A descrição das comunidades bióticas por meio destas características podem expressar melhor a resposta destas comunidades às variações das condições ambientais do que a análise taxonômica, fundamentada essencialmente em espécies (GRIME, 1979), pois as condições ambientais locais devem atuar como filtros capazes de favorecer certos grupos de organismos que compartilham características adaptativas similares (REYNOLDS, 1988; REYNOLDS *et al.*,2002), ainda que as espécies não sejam, de forma obrigatória, relacionadas filogeneticamente (BRASIL, 2011).

Para tal, a abordagem construída por Reynolds (1997,1988,1980) se baseia na existência de três estratégias ecológicas de sobrevivência C, R e S, que anteriormente já haviam sido propostas para vegetais superiores por Grime (1979).

Os grupos formados foram nomeados por códigos alfa-numéricos, baseados em suas estratégias de sobrevivência, tolerâncias e sensibilidades.

De acordo com Reynolds *et al.* (2002), com os grupos funcionais seria possível prever a presença de espécies individuais em determinados locais. Trata-se de um método preditivo, uma vez que permite prever quais serão as possíveis alterações em resposta às ações antrópicas; sendo portanto de grande utilidade para o manejo dos ecossistemas.

O uso desta abordagem vem ganhando a atenção dos ecologistas fitoplanctônicos não só por sua aparente simplicidade (PADISÁK *et al.* 2009) ou capacidade de detectar padrões de distribuição e dinâmica das populações, mas também pela possibilidade de relacionar esses padrões e os organismos presentes com as possíveis ações antropogênicas.

As características funcionais relevantes para o estudo do fitoplâncton devem refletir a capacidade destes organismos de adquirir recursos (luz e nutrientes), para crescer e evitar a mortalidade (MARGALEF, 1978; REYNOLDS, 1984).

Contudo, ainda há escassez de informações sobre características fisiológicas do fitoplâncton (WEITHOFF, 2003), o que vem a limitar a nossa capacidade de chegar a uma classificação a priori funcional, situação esta que não deverá mudar num futuro muito próximo (KRUK *et al.*, 2010).

Ainda que a abordagem dos grupos funcionais dê a idéia de comunidades como entidades funcionais (sensu CLEMENTS, 1916; *apud* KRUK *et al*., 2010), não há uma base óbvia para tal classificação, uma vez que os critérios para atribuição dos grupos não são pré-estabelecidos, da mesma forma que não há uma classificação independente da afiliação filogenética (KRUK *et al*., 2010).

Em contrapartida, características morfológicas são relativamente simples de medir (ARNOLD, 1983; HODGSON, 1999), e curiosamente sua relação com a fisiologia é potencialmente bem definida (REYNOLDS, 1997; WHITFIELD, 2001).

Partindo do presuposto de que características funcionais tais como a taxa de crescimento de um organismo, sua capacidade de obter recursos ou de diminuir a herbivoria estarão relacionadas às dimensões do organismo (REYNOLDS, 1988; KIRK, 1996), KRUK *et al*. (2010) propuseram uma nova classificação funcional do fitoplâncton, baseada exclusivamente na morfologia dos organismos. Para tal, foram utilizados simples traços morfológicos, tais como o volume, a área superficial, a máxima dimensão linear (MDL), a razão S/V e a presença ou ausência de características capazes de aumentar o "fitness" dos organismos, como a presença de mucilagem, flagelos, aerótopos, heterocitos ou sílica.

Esse tipo de abordagem tem se mostrado eficiente na descrição da dinâmica do fitoplâncton em diferentes gradientes tróficos (BRASIL, 2011; PACHECO *et al*., 2010, KRUK *et al*., 2011).

A grande vantagem dessa nova abordagem é que, além desta ser mais estreitamente relacionada a fatores ambientais, a classificação baseada na morfologia tem a característica de ser transparente e simples, uma vez que não requer conhecimentos prévios sobre a ecologia ou filogenia dos organismos, assim como não utiliza como base integrante do método a definição prévia do habitat típico dos mesmos.

Do exposto, os ambientes costeiros revestem-se de grande interesse científico, não só pelas ações físico-químicas, ocasionadas por importantes fluxos de matéria e energia, como também, por razões econômicas e ecológicas (AZEVEDO e CARMOUZE, 1994). Dessa forma, o estudo do fitoplâncton é de grande importância para o entendimento dos diferentes ambientes aquáticos, entre eles as lagoas costeiras. Os resultados obtidos com essa comunidade, composta por organismos considerados como eficientes sensores das modificações ambientais (MARGALEF, 1983), podem ser usados em programas de

recuperação desses ambientes. Dentro desse contexto, a previsão e gerenciamento adequado de tais problemas ambientais, necessitam do pleno entendimento das condições específicas que resultam em composição e estrutura indesejadas da comunidade fitoplanctônica.

4 OBJETIVOS

Reconhecer os padrões espaciais e temporais do fitoplâncton na Lagoa de Marapendi, identificando os fatores controladores e direcionadores da comunidade, através da comparação entre as abordagens dos grupos taxonômicos e dos grupos funcionais.

4.1 Objetivos Específicos

i) Conhecer o estado da biodiversidade fitoplanctônica na Lagoa de Marapendi.

ii) Conhecer a dinâmica espacial e temporal da composição e biomassa fitoplanctônica.

iii) Identificar, através de estudos de campo, os fatores reguladores da ocorrência e/ou dominância de cianobactérias na lagoa estudada.

iv) Aplicar a abordagem de associações fitoplanctônicas através dos Grupos Funcionais (GF) e dos Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFG), e compará-la com a abordagem tradicional que leva em conta grandes grupos taxonômicos e espécies individuais.

5 METODOLOGIA

5.1 Área De Estudo

O Complexo Lagunar de Jacarepaguá localiza-se na Planície Costeira de Jacarepaguá, litoral sul do Estado do Rio de Janeiro (43º17' e 43º30'W ; 22º55' e 23º00'S), possui 130 km^2 de extensão e é formado por quatro lagoas principais: Jacarepaguá, Camorim, Tijuca e Marapendi (DOMINGOS, 2001) (Figura 1).

Limita-se ao sul, pelo Oceano Atlântico e pelos maciços da Pedra Branca (ao norte) e da Tijuca (a oeste) (CALHEIROS, 2006).

Figura 1 – Vista Panorâmica do Complexo Lagunar de Jacarepaguá. Fonte: www.serla.rj.gov.br retirado de Sampaio (2008).
1-Lagoa de Marapend, 2-Lagoa de Jacarepaguá; 3-Lagoa do Camorim; 4-Lagoa da Tijuca

Trata-se de um conjunto lagunar raso, com uma profundidade média de 1,8 metros e com baixa taxa de renovação (PIMENTA, 2009). Sua formação e localização

entre duas faixas de sedimento podem ser explicados por sucessivos eventos de transgressão e regressão marinha, datados no Pleistoceno e no Holoceno, respectivamente (AZEVEDO, 1984).

O clima é do tipo “A” (tropical), segundo a classificação de Köppen, variando entre os tipos Af (clima tropical quente e úmido sem estação seca) e Aw (clima tropical quente e úmido, com verão úmido e inverno seco) em função dos contrastes da topografia entre as áreas planas da planície e as montanhas e pela proximidade do mar. As temperaturas são elevadas na planície costeira e suavizadas pelos ventos litorâneos, nas áreas mais elevadas. A pluviometria na planície costeira apresenta pequenos coeficientes de variação anual e grandes variações mensais. Os ventos predominantemente Sul e as temperaturas mais elevadas são registrados no período de primavera /verão (CALHEIROS, 2006).

Vários tipos de sedimentos oriundos tanto de processos marinhos quanto continentais podem ser encontrados em torno do complexo lagunar, formando terrenos como areais, mangues, turfeiras e depósitos de vasas orgânicas. No passado, estes se tratavam de terrenos de expansão das lagunas, além de funcionarem como filtros capazes de selecionar os sedimentos que alcançariam o corpo d’água (PIMENTA, 2009), contudo, a crescente urbanização vem reduzindo a área destes.

A Lagoa de Marapendi compreende uma área de 3,62 km^2 e se comunica indiretamente com o mar pelo Canal de Marapendi. Esta não recebe aporte de água doce dos canais fluviais que ocorrem na baixada de Jacarepaguá. Situa-se entre uma estreita faixa de praia, possuindo cerca de 10 km de comprimento e 350 m de largura, e formato alongado (Figura 2) (RIO DE JANEIRO, 1998).

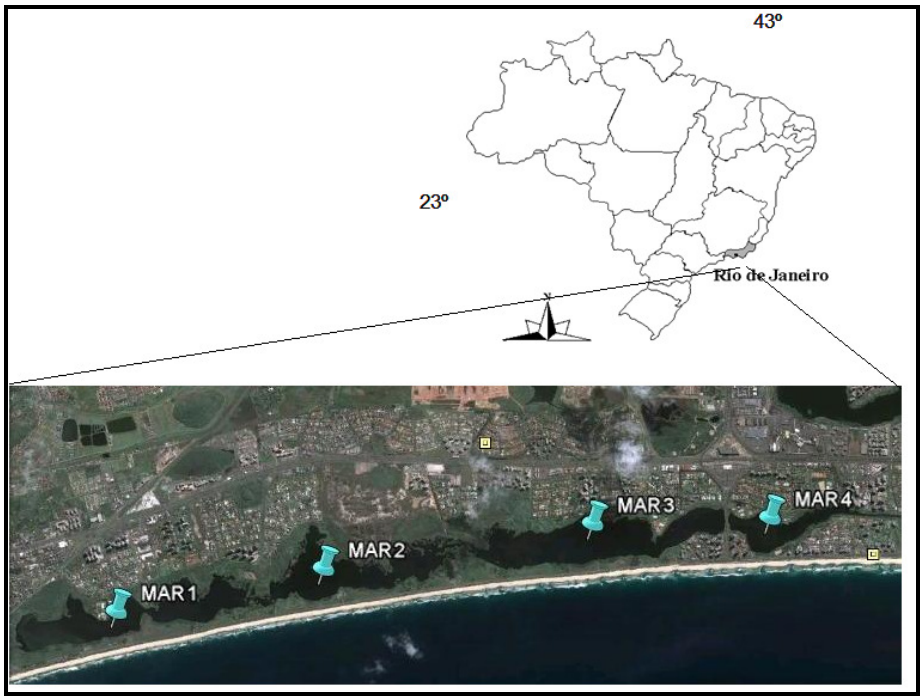


Figura.2 – Mapa da Área de Estudo contendo os pontos amostrais Mar1, Mar2, Mar3 e Mar4.

5.2 Coleta e Preservação das Amostras

Amostragens mensais foram realizadas em quatro estações na Lagoa de Marapendi (Figura 2) no período entre janeiro e dezembro de 2008 (Tabela 1). Para a seleção dos pontos de amostragem foi levada em consideração a área total da lagoa, bem como sua geometria e seus diferentes níveis de contribuição marinha.

O ponto MAR1 é o ponto mais interno, de menor profundidade (profundidade máxima = 2,0m) e maior tempo de retenção, ao passo que a profundidade progressivamente aumenta em direção ao ponto MAR4, onde chega a 6m. Além da maior profundidade, este ponto caracteriza-se pela conexão com o mar, e portanto, maior capacidade de renovação.

Tabela 1 - Localização dos pontos amostrais na Lagoa de Marapendi, RJ.

Estação de amostragem	**Coordenadas geográficas**	
	Latitude	Longitude
MAR1	23° 01.053' S	43° 26.180 ' W
MAR2	23° 00.801' S	43° 24.802' W
MAR3	23° 00.561' S	43° 22.943' W
MAR4	23° 00.469' S	43° 21.661 ' W

As amostras para obtenção dos dados de clorofila-a e biovolume do fitoplâncton foram coletadas na sub-superfície (0,1m). Foram coletadas ainda, amostras de água para determinação da concentração das formas dissolvidas de nitrogênio, fósforo e clorofila. Para a quantificação e determinação do biovolume, as amostras foram fixadas com solução de lugol, enquanto que as amostras para análise de nutrientes e clorofila foram preservadas por congelamento.

5.3 **Coleta de dados**

Em todas as coletas foram obtidos os perfis de temperatura, pH (potencial hidrogeniônico), condutividade elétrica da água, salinidade e oxigênio dissolvido (OD) através da sonda multiparâmetros marca YSI, modelo QS600. A transparência da água foi estimada através do desaparecimento do disco de Secchi com diâmetro de 35 cm. A zona eufótica foi estimada através dos dados da transparência da água multiplicados por 3 (COLE, 1994).

Dados de transparência, pluviosidade e vento foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), assim como dados de temperatura do ar foram fornecidos pelo Instituto Estadual de Ambiente (INEA).

5.4 **Análise das amostras**

5.4.1 Clorofila-*a*

Foram realizadas análises da concentração de clorofila-*a* nas amostras superficiais coletadas em campo e submetidas à filtração à vácuo com a utilização de uma bomba manual. Para tal, foram utilizados filtros de borossilicato GF-1 da Macherey-Nagel. A pressão a vácuo foi de 100 a 300 mm Hg, a fim de evitar o rompimento das células fitoplanctônicas. Após a filtração, os filtros foram cobertos em papel alumínio e mantidos congelados até a análise. No Laboratório de Taxonomia de Ecologia de Algas (LabAlgas) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) estas amostras foram analisadas em até no máximo 3 dias. A clorofila-*a* foi estimada através da extração dos filtros em acetona 90% e determinação da concentração por espectrofotometria (APHA, 2005).

5.4.2 Nutrientes

As concentrações de nutrientes dissolvidos (fosfato, nitrato e amônia) foram determinadas em amostras filtradas (filtro de celulose regenerado de 0,45 µm poro) através da técnica de cromatografia iônica, usando o cromatógrafo DIONEX, modelo ICS-1000.

5.4.3 Análise da Comunidade Fitoplanctônica

As amostras foram analisadas em microscópio OLYMPUS BH-2, equipado com analisador de imagem (imagem Pro, Media Cibernetics) para a determinação dos táxons fitoplanctônicos. Estes foram identificados com base nas características morfológicas e morfométricas da vida vegetativa e reprodutiva através da utilização de bibliografia específica. Para a determinação dos grandes grupos taxonômicos de algas foram utilizados os critérios de Van den Hoeck *et al*. (1997) para todos os grupos de algas exceto para as cianobactérias (KOMÁREK & ANAGNOSTIDIS, 1999, 2005).

Os organismos que contribuíram com no mínimo 5% para a biomassa total em cada amostra, foram separados em grupos funcionais de acordo com Reynolds *et al*. (2002), e em grupos funcionais baseados na morfologia de acordo com Kruk *et. al.* (2010).

A quantificação do fitoplâncton foi realizada em microscópio invertido OLYMPUS CKX41 através do método de sedimentação de Utermöhl (1958). O volume a ser sedimentado variou de acordo com a concentração fitoplanctônica, bem como com a concentração de detritos e o tipo algal predominante (filamentoso ou esférico). O tempo de sedimentação foi de pelo menos três horas para cada centímetro de altura da câmara de sedimentação (MARGALEF, 1983).

Os indivíduos (células, colônias ou filamentos) foram enumerados em campos aleatórios segundo Uhelinger (1964), atingindo-se no mínimo a contagem de 100 indivíduos da espécie mais freqüente, sendo o erro inferior a 20%, ($p<0,05$) (LUND *et al*., 1958).

5.5 **Análise dos dados**

5.5.1 Biovolume Fitoplanctônico

O biovolume ($mm^3.l^{-1}$) foi estimado multiplicando-se as densidades de cada espécie pelo volume médio de suas células, sempre que possível considerando as dimensões médias de cerca de 25 indivíduos. O volume de cada célula foi calculado a partir de modelos geométricos aproximados à forma dos indivíduos (EDLER, 1979 e HILLEBRAND *et al.* 1999). *A* biomassa específica foi expressa em $mg.l^{-1}$ (peso fresco), calculada pelo produto das densidades populacionais e do o volume médio de cada unidade, assumindo a densidade das células fitoplanctônicas de 1 $g.cm^{-3}$.

5.5.2 – Grupos Funcionais (GF)

Os grupos funcionais fitoplanctônicos foram estabelecidos de acordo com Reynolds (1997), Reynolds *et al*. (2002) e Padisák *et al*. (2009) sendo agrupados apenas os organismos que apresentaram uma contribuição de pelo menos 5% da biomassa fitoplanctônica total de cada amostra, considerando seus habitats, tolerâncias e sensibilidades (Quadro 1).

Quadro 1 – Características dos principais Grupos Funcionais encontrados na Lagoa de Marapendi no período de estudo (sensu Reynolds *et al.*, 2002 e Padisák *et al.*, 2009)

GF	Habitat	Tolerância	Sensibilidade
H1	Ambientes mesotróficos	Deficiência de nitrogênio e carbono	Ambientes mesclados com baixa luminosidade e baixa quantidade de fósforo
K	Camadas rasas mescladas e enriquecidas		Mescla
M	Ambientes eutróficos e mesclados	Alta insolação	Turbulência, baixa luminosidade
S1	Camadas mescladas e turvas	Alta deficiência de luz	Turbulência
X2	Ambientes rasos, claros, mesclados e mesotróficos	Estratificação	Camadas mescladas, predadores filtradores.
J	Lagos rasos enriquecidos		Baixa luminosidade
X1	Camadas rasas mescladas em condições enriquecidas	Estratificação	Deficiência de nutrientes, predadores filtradores
C	Ambientes mesclados e eutróficos	Deficiência de luz e carbono	Esgotamento de Si e estratificação
MP	Ambientes rasos, túrbidos inorgânicos		Sedimentação
Y	Lagos pequenos e enriquecidos	Baixa luminosidade	Herbivoria

5.5.3 Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFG)

Os organismos fitoplanctônicos que contribuíram com mais de 5% do biovolume amostral foram ainda alocados em grupos funcionais baseados na morfologia, segundo os critérios descritos em Kruk *et. al.* (2009), que consideraram as razões superfície/volume dos organismos, bem como sua máxima dimensão linear. Para organismos coloniais com mucilagem, os cálculos das razões S/V foram feitos para colônias inteiras, incluindo a mucilagem. A presença de especializações, tais como

aerótopos, flagelos, mucilagem, heterocitos e exoesqueleto silicoso foram consideradas para entrada em chave dicotômica.

5.6 **Análises Estatísticas**

Os dados foram organizados em três matrizes de dados biológicos contendo as espécies fitoplanctônicas agrupadas segundo: 1) os principais grupos taxonômicos; 2) os 10 grupos funcionais; 3) os grupos funcionais baseados na morfologia, além de uma matriz "explicadora" formada pelas variáveis limnológicas. Todas as matrizes continham os quatro pontos de coleta ao longo dos doze meses de campanha, com exceção do ponto MAR 4, onde não foi realizada a coleta de janeiro.

Métodos estatísticos foram utilizados para: 1) elucidar as relações entre os grupos taxonômicos/funcionais/funcionais baseados na morfologia e as variáveis explicativas através de Análises de Redundância (RDA - Ter Braak *et al.*, 2002); 2) testar a significância das variáveis ambientais em explicar a variância dos dados de espécies na RDA através do teste de Monte Carlo, com 900 permutações irrestritas e $p<0,05$.

A mesma matriz explicadora foi utilizada, juntamente com os dados de clorofila a, em uma análise de componentes principais (PCA) a fim de elucidar as relações existentes entre as variáveis ambientais.

6 RESULTADOS

6.1 Variáveis Limnológicas

6.1.1 Temperatura da Água

A temperatura foi um dos fatores de maior variação ao longo de todo o estudo, oscilando entre 24,2ºC no ponto MAR 4 e 30,9ºC no ponto MAR 1(Tabela 2).

A análise de suas isolinhas na coluna d´água (Figura 3) mostra claramente a existência de dois períodos térmicos distintos. Um primeiro período (Período I), de janeiro a abril correspondente às maiores temperaturas e, um segundo período (Período II), delimitado pelos meses de maio a dezembro, onde as temperaturas tenderam a ser menores.

Os pontos MAR 1, MAR 2 e MAR 3 apresentaram períodos de ausência de estratificação, bem como períodos de estratificações térmicas. Contudo, estas provavelmente não eram persistentes devido à baixa profundidade e ação dos ventos, capazes de provocar misturas diárias.

O ponto MAR 4 apresentou estratificações mais bem definidas, decorrentes da influência da salinidade neste ponto (Figura 3).

Tabela 2 - Variação de temperatura (ºC) da água na sub-superfície.

Ponto	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Amplitude	C.V. (%)
Mar1	27,1	1,7	25,1	30,9	5,8	6,3
Mar2	26,9	1,8	24,5	30,4	5,9	6,7
Mar3	26,7	2,0	24,3	30,8	6,5	7,5
Mar4	26,5	1,6	24,2	30,5	6,3	6,0

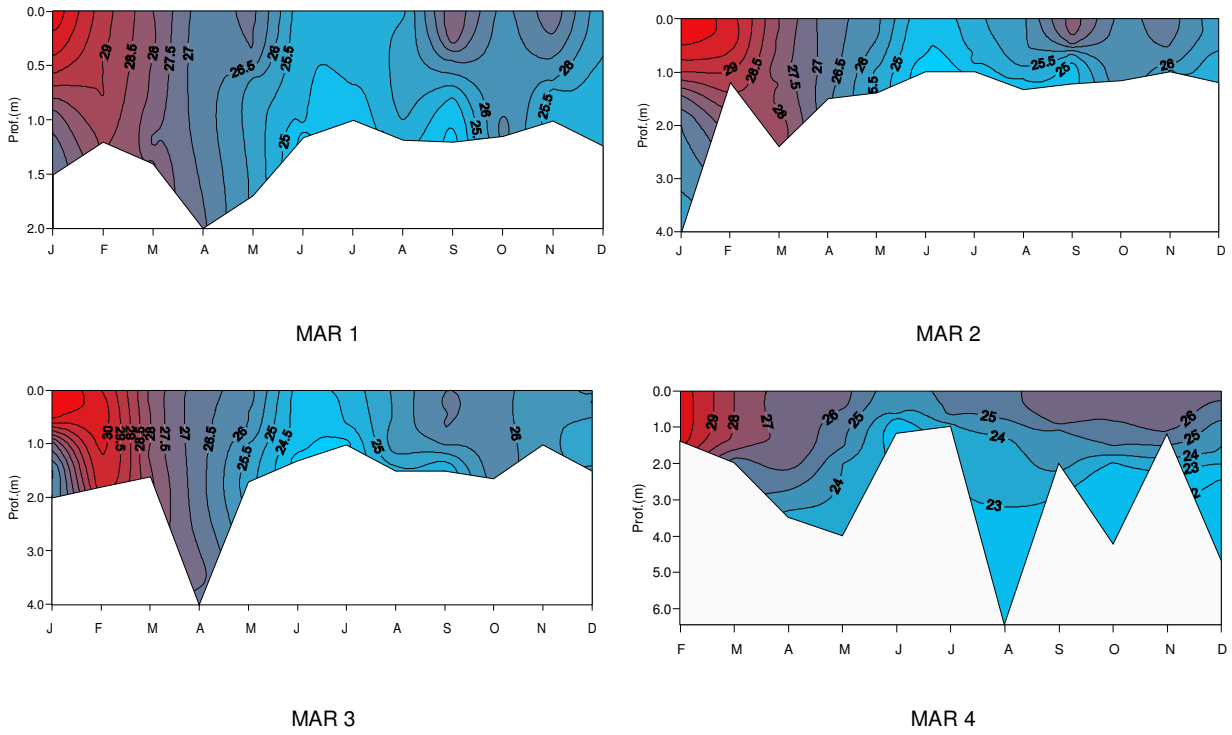


Figura 3 – Gráficos de Isolinhas de Temperatura da Água dos pontos MAR 1, MAR 2, MAR 3 e MAR 4.

6.1.2 Salinidade

A salinidade média anual foi de 10,7 ppm com valores que variaram de mesohalino a polihalino. A menor amplitude foi verificada em MAR2, caracterizado por apresentar salinidades intermediárias na camada sub-superficial. O menor coeficiente de variação, juntamente com os maiores percentuais de sais, ocorreram no ponto MAR 4 devido à constante influência marinha, dada a proximidade do Canal de Marapendi (Tabela 3).

Tabela 3 - Variação de Salinidade (ppt) na sub-superfície dos pontos amostrais.

Ponto	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Amplitude	C.V.(%)
Mar1	6,0	1,9	2,3	8,6	6,3	31,7
Mar2	9,4	1,8	6,3	11,3	5,0	19,1
Mar3	13,0	2,3	9,9	15,8	5,9	17,7
Mar4	16,2	2,6	12,1	20,9	8,8	16,0

Em geral, as maiores salinidades ocorreram entre os meses de abril e outubro, meses caracteristicamente mais frios e secos (Figura 4).

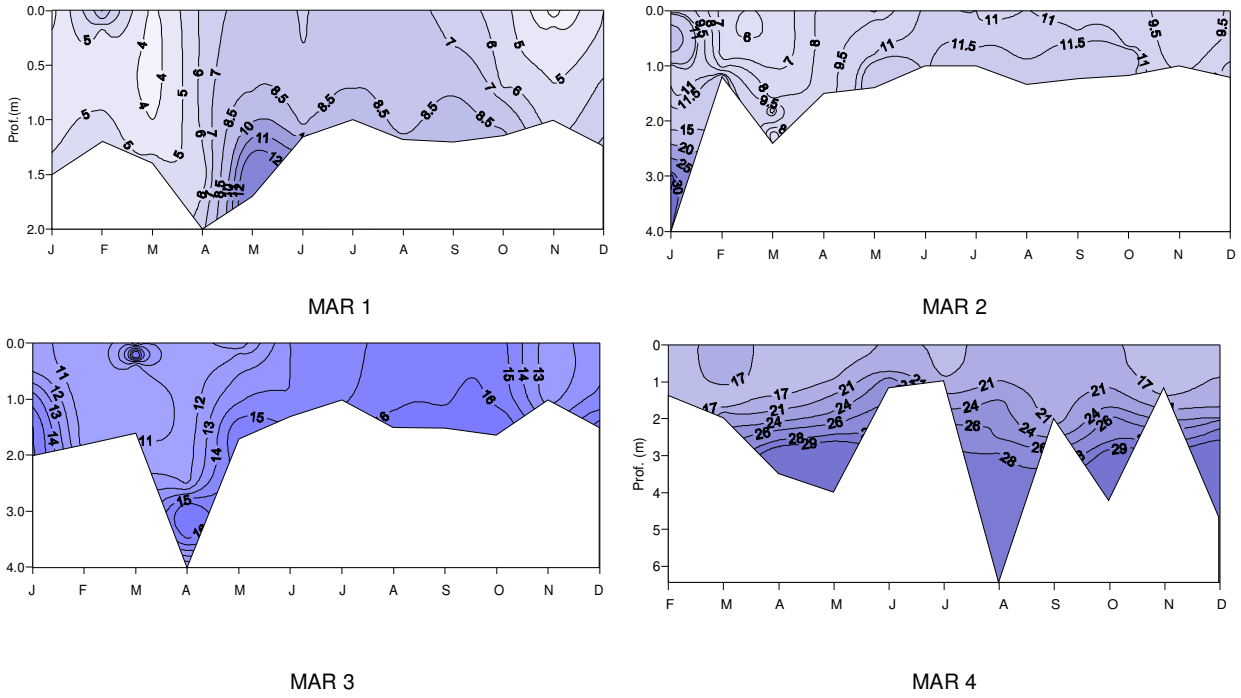


Figura 4 – Gráfico de Isolinhas da Salinidade (ppt) dos pontos MAR 1, MAR 2, MAR 3 e MAR 4.

6.1.3 Transparência

O valor médio da transparência na Lagoa de Marapendi foi 0,37 m. O máximo valor de transparência foi encontrado no mês de novembro (0,65) no ponto MAR 4 e a menor valor no mês de dezembro (0,15 m) no ponto MAR 1 (Tabela 4).

Tabela 4 - Variação da transparência nos pontos amostrais.

Ponto	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Amplitude	C.V.(%)
Mar1	0,3	0,08	0,2	0,4	0,2	28,8
Mar2	0,4	0,07	0,3	0,5	0,2	18,8
Mar3	0,4	0,1	0,2	0,6	0,4	28,0
Mar4	0,4	0,1	0,3	0,6	0,4	29,2

No geral a lagoa apresentou baixa transparência e zona eufótica em todos os pontos amostrais durante o estudo (Figuras 5 e 6).

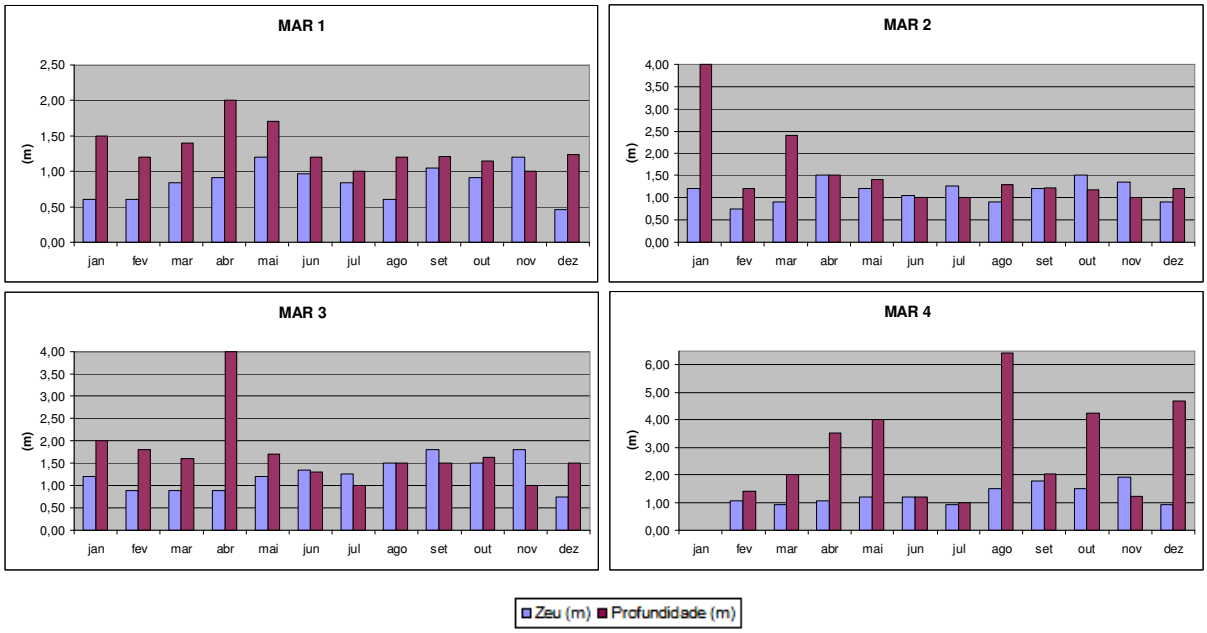


Figura 5 – Gráfico da Zona Eufótica (Zeu) (m) e Profundidade Máxima (m) dos pontos amostrais.

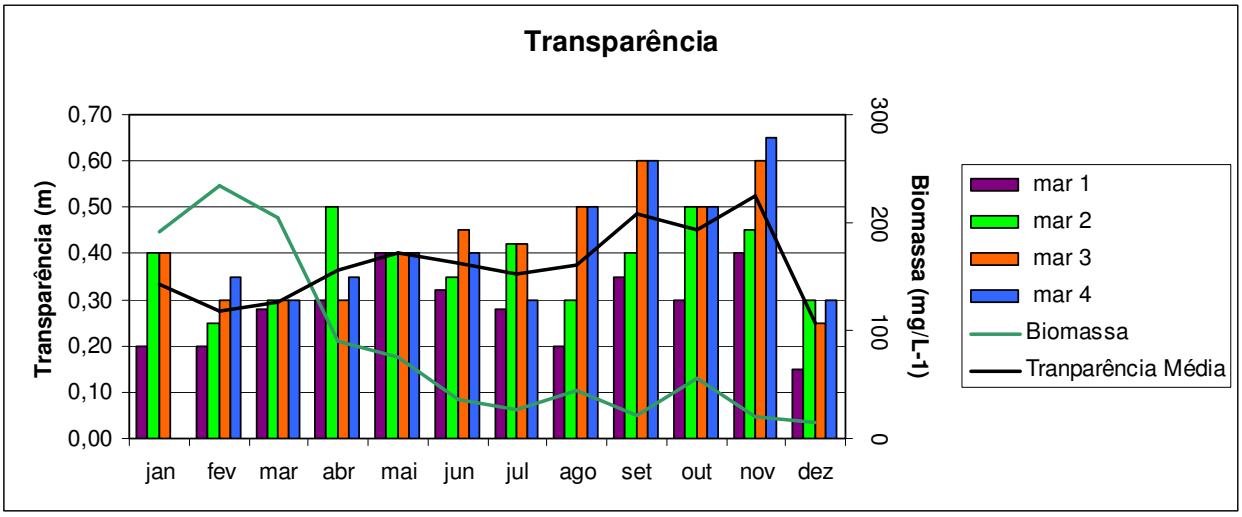


Figura 6 – Gráfico de Transparência da coluna d'água (barras) comparada à transparência média e biomassa total por ponto amostral.

6.1.4 Oxigênio dissolvido

A concentração média anual observada de oxigênio dissolvido na Lagoa de Marapendi foi 6,25 mg L^{-1}. Os valores máximo e mínimo de oxigênio dissolvido foram observados no ponto MAR 1 (Tabela 5). Apesar dos valores médios nos pontos amostrais não oscilarem muito, os coeficientes de variação foram elevados, e decorrentes de uma estratificação química, onde os maiores valores de OD ocorreram na superfície (Figura 7).

Tabela 5 - Variação de oxigênio dissolvido (mg L^{-1}) da água na sub-superfície.

Ponto	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Amplitude	C.V.(%)
Mar1	8,5	7,0	0,3	23,6	23,3	82,0
Mar2	8,2	6,0	0,0	19,7	19,7	72,0
Mar3	7,8	4,7	0,2	18,7	18,5	60,0
Mar4	6,7	5,9	0,0	17,1	17,1	88,0

O ponto de coleta MAR 1 apresentou perfis verticais demonstrando condições de hipoxia (<2,0 mg L^{-1}) mesmo na porção superficial.

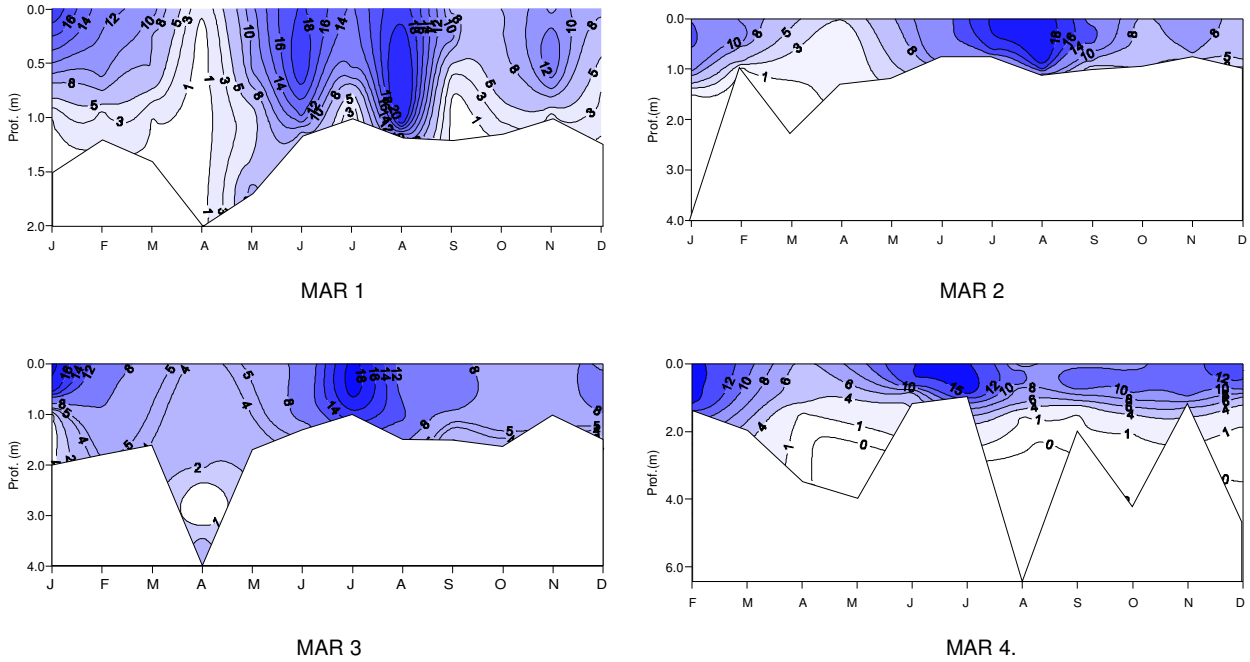


Figura 7 – Gráfico de Isolinhas de Taxa de Oxigênio Dissolvido dos pontos MAR 1, MAR 2, MAR 3 e MAR 4.

6.1.5 pH

A média anual de pH na água sub-superficial da lagoa foi de 8,0. Os valores máximo e mínimo de pH foram registrados no ponto MAR 2, atingindo um máximo de 9,15 no mês de fevereiro, e um mínimo de 6,48 em dezembro. A maior amplitude e coeficiente de variação na sub-superfície foi verificada neste ponto (Tabela 6, Figura 8).

Tabela 6 - Variação de pH da água na sub- superfície dos pontos amostrais.

Ponto	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Amplitude	C.V.(%)
Mar1	7,87	0,66	6,93	8,83	1,90	8,4
Mar2	7,98	0,73	6,48	9,15	2,67	9,2
Mar3	8,13	0,48	7,45	9,01	1,56	5,8
Mar4	8,07	0,58	6,94	9,12	2,18	7,1

Os perfis verticais de pH mostraram-se fortemente influenciados pela atividade fotossintética evidenciada nos valores de OD. O pH tendeu a valores mais alcalinos na superfície e valores neutros nas camadas próximas ao sedimento (Figura 8).

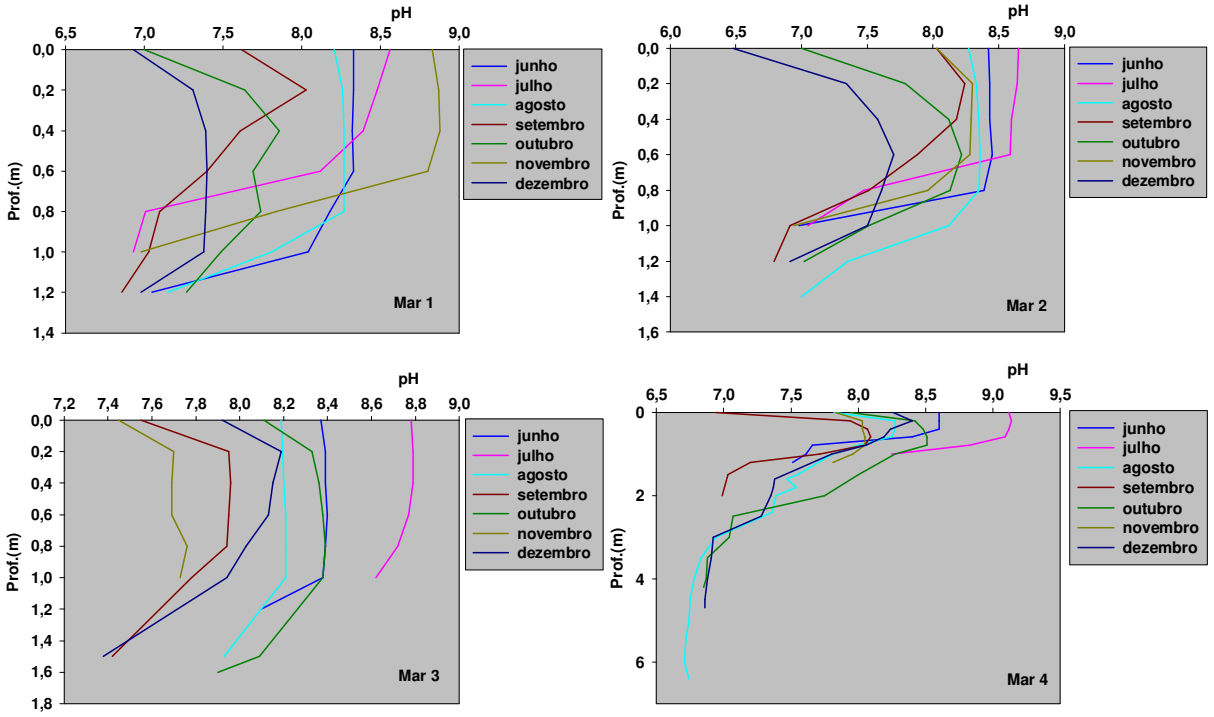


Figura 8 - Variação mensal dos perfis verticais de pH dos pontos MAR 1, MAR 2, MAR 3 e MAR 4.

6.1.6 Nutrientes

De modo geral, os nutrientes apresentaram suas menores médias entre o período de janeiro a abril (Período I) e as maiores, de maio a dezembro (Período II) (Quadro 2, Figura 9). O ponto MAR 1 tendeu às maiores concentrações de nutrientes, ao passo que estas foram progressivamente diminuindo conforme se aproximavam ao Canal de Marapendi.

As amostras de janeiro, setembro e outubro não puderam ser analisadas.

Quadro 2 - Valores Médios da concentração de nutrientes.

Nutriente	Média	
	Jan a Abr	Mai a Jun
NO_3^- (µg L^{-1})	235,9	251,2
NO_2^- (µg L^{-1})	119,2	276,0
NH_4^+ (µg L^{-1})	6152,0	13115,9
PO_4^{3-} (µg L^{-1})	1932,8	3180,4

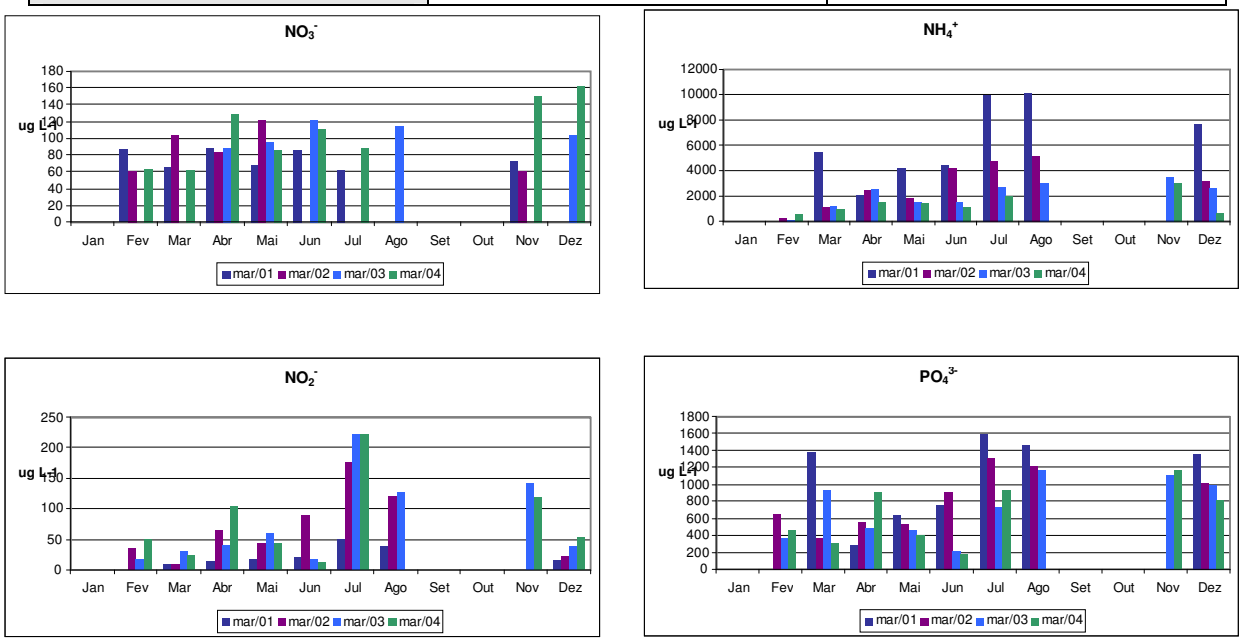


Figura 9 - Variabilidade temporal e espacial da concentração de nutrientes (nitrato, Íon amônio, nitrito e ortofosfato).

6.2 Regime Físico e Químico

A radiação solar (KJ/m^2) apresentou maiores valores nos meses de dezembro e janeiro, diminuindo progressivamente conforme se aproximaram os meses de junho e julho, meses caracteristicamente mais frios e secos (Figura 10). Em períodos de maior precipitação foi possível verificar a redução da radiação incidente na região, mesmo durante os meses do verão.

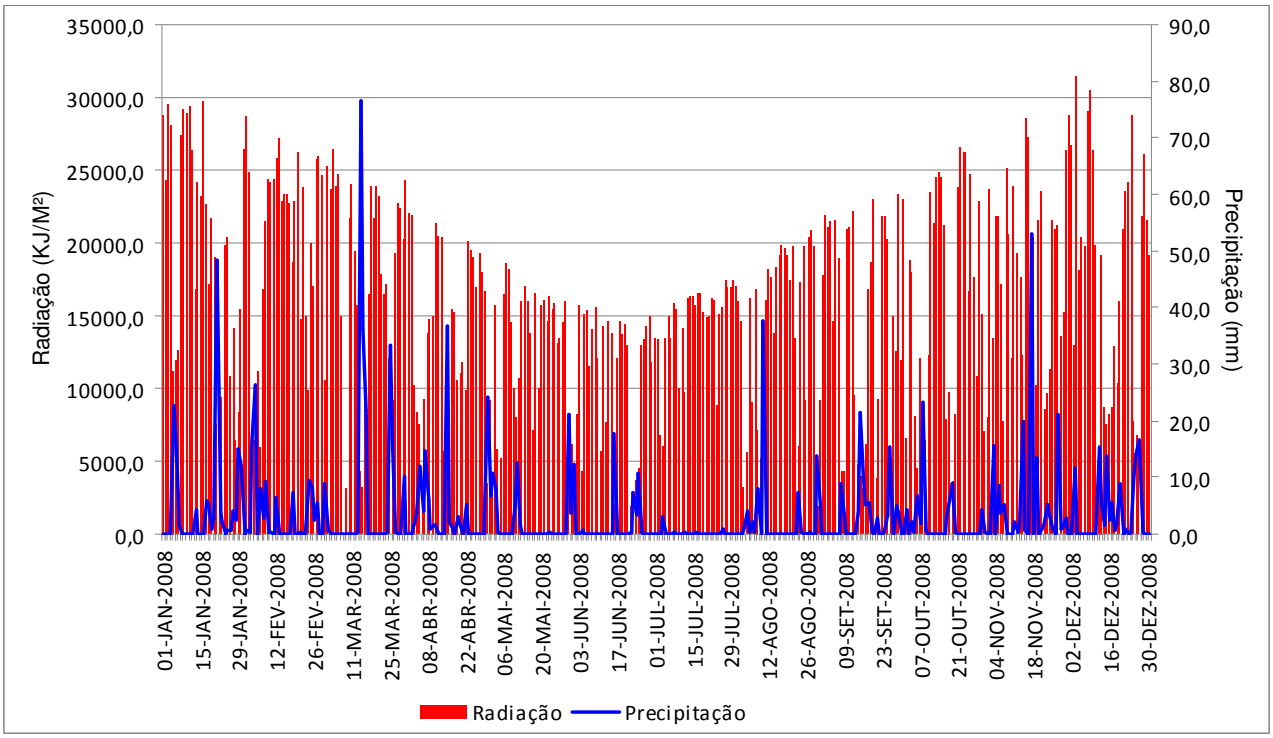


Figura 10 – Variação temporal da Radiação (KJ/m^2) e Precipitação total anual (mm) na área de estudo em dados diários do ano de 2008 (Fonte: INMET).

A temperatura do ar compreendeu valores entre o mínimo de 16ºC e o máximo de 38ºC, de forma que durante toda a campanha houve aproximadamente 20ºC de variação (Figura 11). Os dados climáticos de radiação, temperatura do ar e pluviosidade indicaram claramente a existência de duas estações: quente/chuvosa e fria seca.

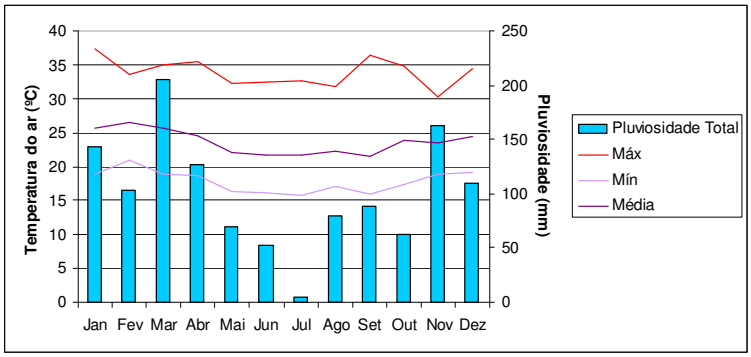


Figura 11 – Temperatura máxima, mínima e média do ar (ºC) e pluviosidade anual (mm). Fonte: (INMET e INEA).

A análise de componentes principais (PCA) para os dados limnológicos já apresentados, evidenciou a distinção dos dois períodos amostrais, onde o padrão temporal das variáveis limnológicas reflete a sazonalidade climática. O período I, que corresponde aos meses de janeiro a abril, esteve relacionado às maiores temperaturas, pluviosidade e clorofila-*a*, enquanto que no período II, maio a dezembro, há uma menor concentração de clorofila-*a,* juntamente com maiores valores de oxigênio dissolvido (OD) e maior disponibilidade de recursos (Figura 12).

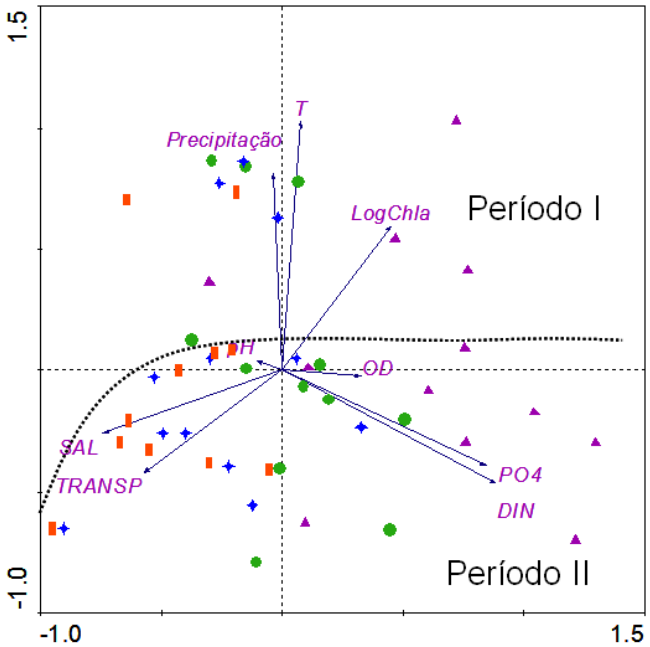


Figura 12 – Diagrama de ordenação das amostras da Lagoa de Marapendi nos dois primeiros eixos da PCA. As variáveis da matriz analisada foram precipitação, temperatura (T), pH, salinidade (Sal), transparência (Transp), oxigênio dissolvido (OD), fosfato (PO4-), nitrogênio inorgânico dissolvido (DIN) e o log da clorofila a (log Chloro a). Estação MAR1 (▲), MAR2 (●), MAR3 (✦) e MAR4 (▮).

6.3 Comunidade Fitoplanctônica

6.3.1 Composição Florística

A comunidade fitoplanctônica foi representada por 45 táxons, com maior contribuição das clorofíceas (39%). As cianobactérias contribuíram com 18% dos táxons, seguidas das diatomáceas (Bacillariophyceae) com 13%, criptofíceas com 4% e dinoflagelados com 4%. Cerca de 22% dos táxons não foram identificados (Figura 13).

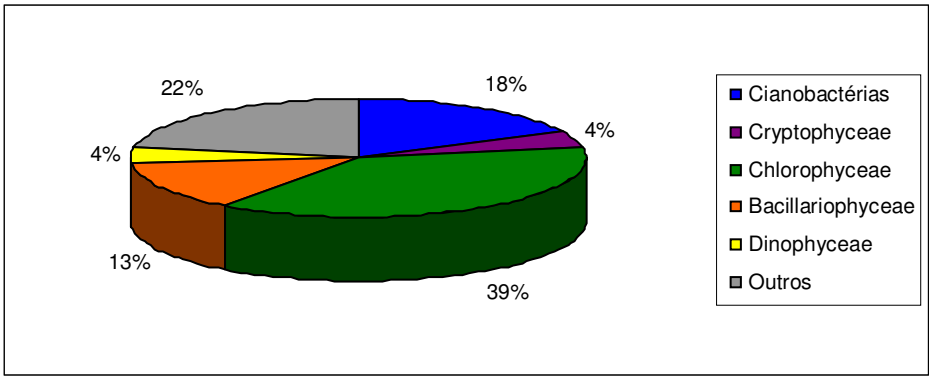


Figura 13 – Contribuição Percentual das Classes Algais Registradas

Dos 45 táxons analisados, 17 foram identificados em nível de espécie (Figura 14, Pranchas 1,2 e 3) e encontram-se listadas a seguir:

Cianobacteria

- *Aphanizomenon gracile* Lemmermann
- *Aphanocapsa delicatissima* West & G.S.West
- *Aphanocapsa incerta* (Lemmermann) Cronberg e Komárek
- *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing
- *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis e Komárek

Chlorophyceae

- *Chlorella minutissima* Fott & Nováková
- *Chlorella vulgaris* Beijerinck
- *Desmodesmus opoliensis* (P.Richter) E.Hegewald
- *Desmodesmus protuberans* (Fritsch & Rich) E.Hegewald
- *Desmodesmus quadricauda* (Turpin) Brébisson ex Ralfs
- *Scenedesmus obliquus* (Turpin) Kützing

Xanthophyceae

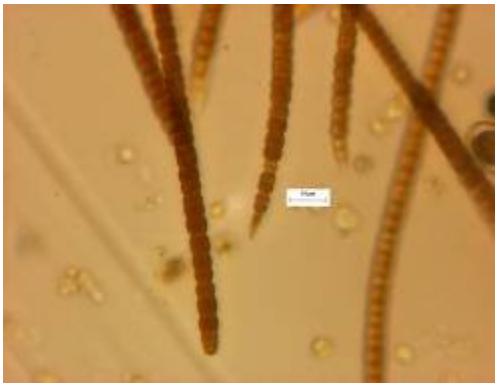
- *Goneochloris* cf. *laevis* Fott
- *Pseudogoniochloris cf. tripus* (Pascher) L.Krienitz, E.Hegewald, O.L.Reymond, & T.Peschke

Bacillariophyceae

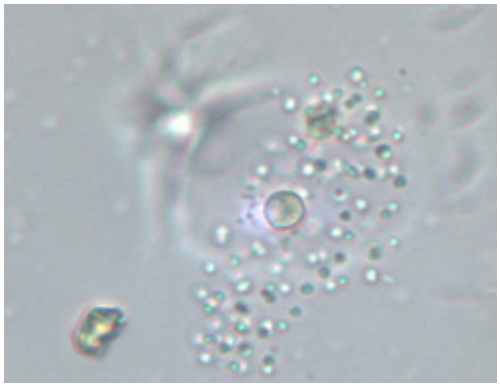
- *Cyclotella cf.meneghiniana* Kützing
- *Chaetoceros cf. muelleri* Lemmermann
- *Nitzschia cf. acicularis* (Kützing) W.Smith

Dinophyceae

- *Prorocentrum minimum* (Pavillard) J.Schiller

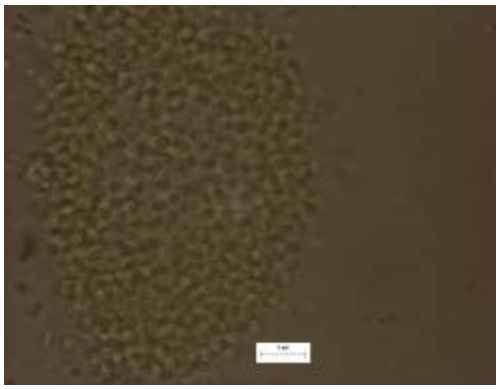


Aphanizomenon gracile

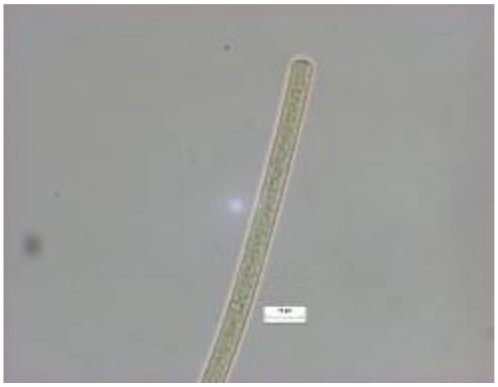


Aphanocapsa delicatissima

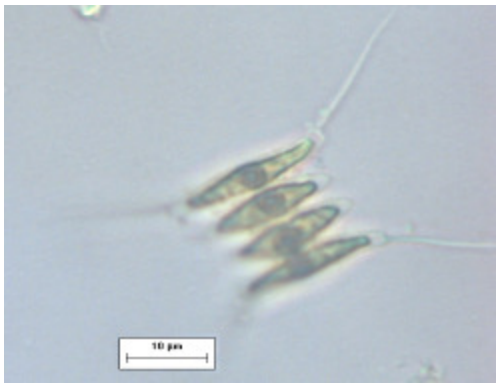
Aphanocapsa incerta



Microcystis aeruginosa

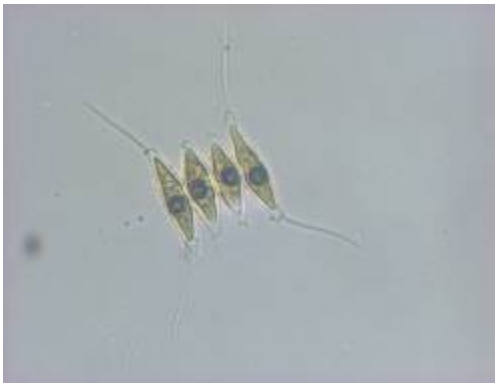


Planktothrix agardhii

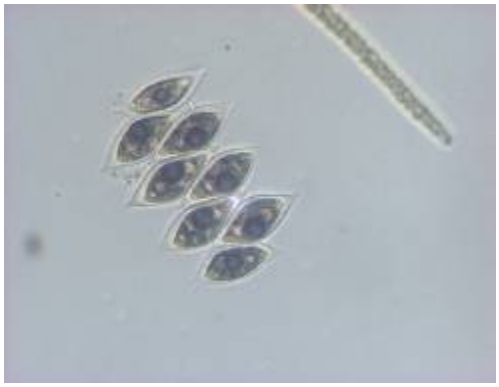


Desmodesmus opoliensis

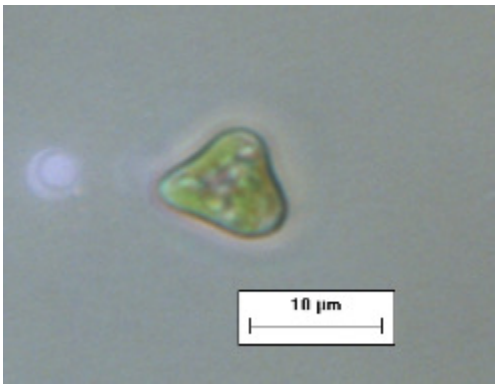
Figura 14 - Prancha 1 – Táxons Representantes de Cianobacteria e Chlorophyceae



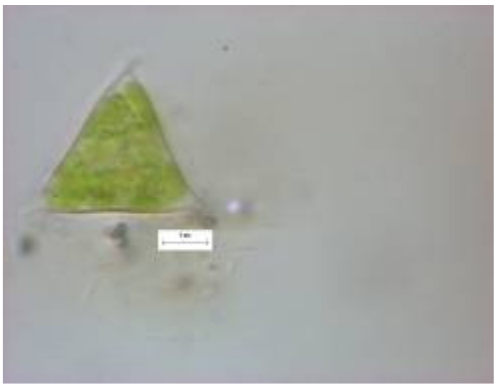
Desmodesmus protuberans



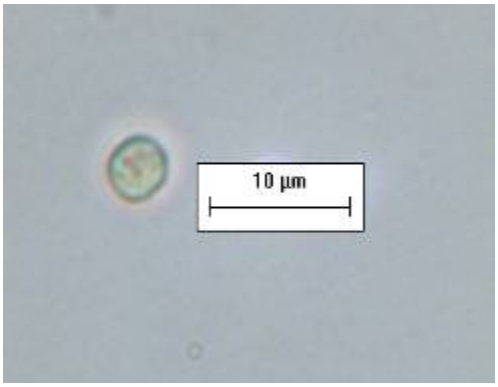
Scenedesmus obliquus



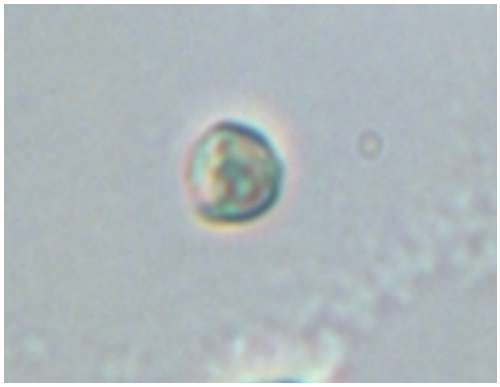
Goneochloris cf. laevis



Pseudogoniochloris cf. tripus



Chlorella cf. minutissima



Chlorella cf. vulgaris

Figura 14 - Prancha 2 – Táxons Representantes de Chlorophyceae e Xanthophyceae

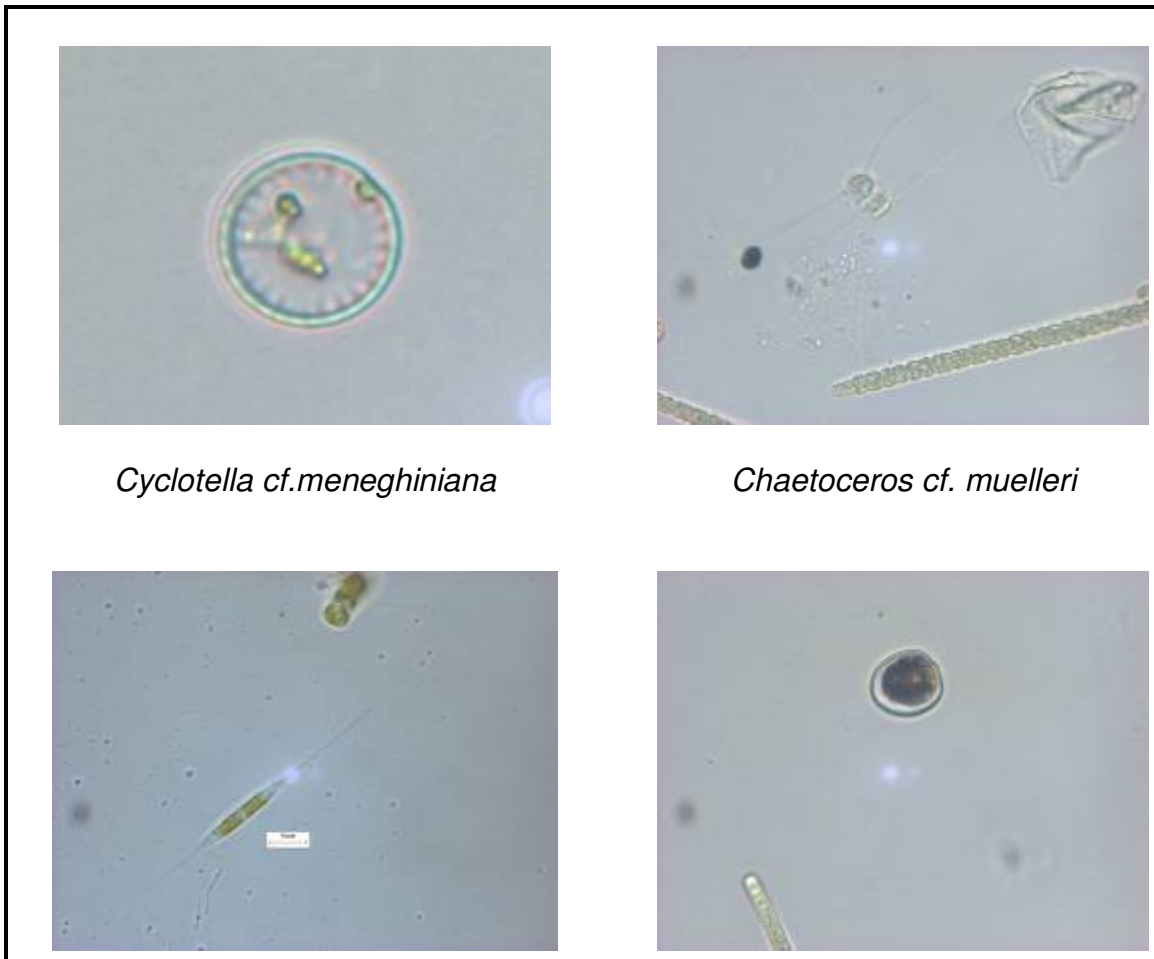


Figura 14 - Prancha 3 – Táxons Representantes de Bacillariophyceae e Dinophyceae

6.3.2 Biomassa

6.3.2.1 Clorofila-*a*

A concentração média anual de clorofila *a* foi de 116,3 µg L^{-1}, sendo o maior valor registrado no ponto MAR 1 (367,6 µg L^{-1}) no mês de fevereiro (Tabela 7).

Tabela 7 - Variação da concentração anual de clorofila-*a* (µg L^{-1}) nos pontos amostrais.

Ponto	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Amplitude	C.V.(%)
mar/01	159,2	111,2	31,2	367,6	336,4	12357
mar/02	100,5	78,3	37,6	324,4	286,8	6132
mar/03	112,5	59,0	23,6	220,6	197,0	3485
mar/04	92,7	66,8	17,5	229,0	211,6	4466

A variabilidade temporal da concentração de clorofila a (Figura 15) mostra uma grande oscilação de valores. Em geral as médias correspondentes aos meses iniciais do ano foram muito superiores às dos meses seguintes (Quadro 3).

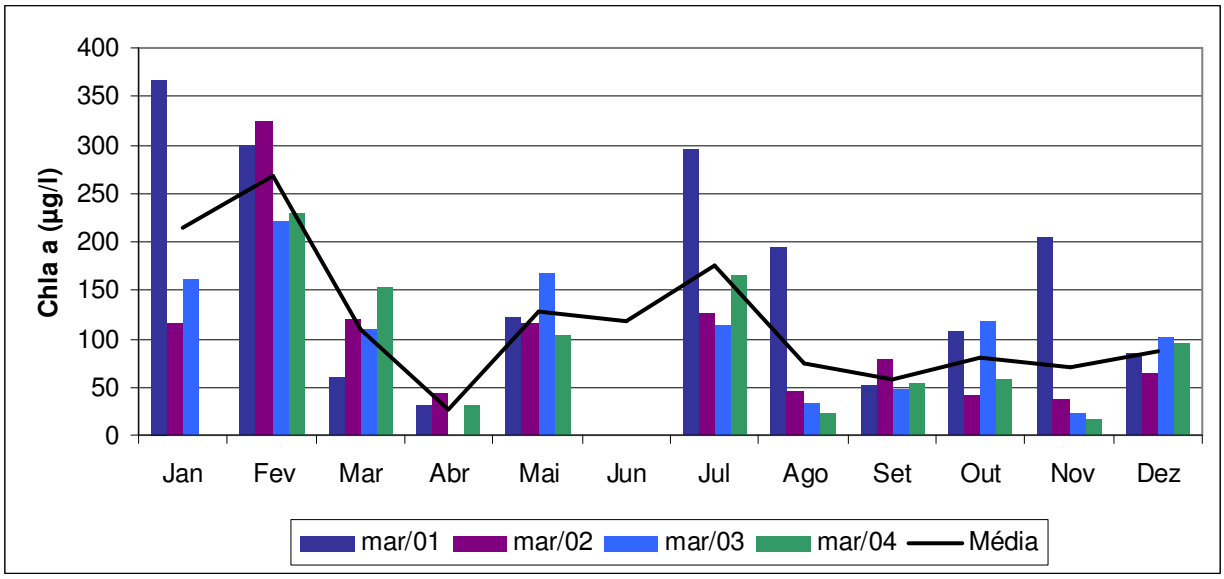


Figura 15 - Variabilidade temporal e espacial da concentração de clorofila a; barras – valores absolutos, linha – valor médio

Quadro 3 - Valores Médios da Concentração de Clorofila a por Ponto Amostral (µg L^{-1}).

Clorofila a	Média	
	Jan a Abr	Mai a Jun
MAR 1	189,12	151,17
MAR 2	150,76	72,42
MAR 3	163,40	86,11
MAR 4	137,19	73,15

6.3.2.2 Biomassa Fitoplanctônica Total

A biomassa fitoplanctônica foi um fator de grande variação ao longo do ano de 2008 em todos os pontos amostrais, caracterizando a existência de dois períodos distintos.

De maneira geral, o Período I (período quente-chuvoso), que vai de janeiro à abril, esteve relacionado aos maiores valores de biomassa, chegando a 79,7 mg L^{-1} em MAR 3. Enquanto o Período II (período frio-seco) esteve relacionado aos menores valores, tendo o seu mínimo valor (1,53 mg L^{-1}) ocorrido no ponto de amostragem MAR 2 (Quadro 4).

Embora as Chlorophyceae tenham contribuído com a maior riqueza taxonômica, as maiores biomassas estiveram relacionadas às Cianobacteria e Bacillariophyceae.

O ponto de amostragem MAR 3 apresentou a maior média de biomassa anual (26,88 mg L^{-1}), enquanto que o ponto MAR 1 apresentou a menor média anual (11,25 mg L^{-1}).

Quadro 4 – Variação da Biomassa Fitoplanctônica (mg L^{-1})

Biomassa		MAR 1		
	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Anual	11,95	13,37	1,89	42,75
Período I	24,93	17,00	1,89	42,75
Período II	5,46	3,52	1,91	11,38
		MAR 2		
	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Anual	21,85	26,84	1,53	75,06
Período I	52,59	26,39	16,19	75,06
Período II	6,48	4,84	1,53	16,62
		MAR 3		
	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Anual	26,88	24,99	2,63	79,70
Período I	56,40	16,07	43,02	79,70
Período II	12,12	11,10	2,63	36,32
		MAR 4		
	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Anual	21,46	18,51	5,39	60,07
Período I	45,88	15,18	29,87	60,07
Período II	12,30	8,49	5,39	29,02

6.3.2.3 Contribuição das Diferentes Classes Taxonômicas para a Biomassa Fitoplanctônica Total

As maiores biomassas, referentes ao Período I foram decorrentes de florações de cianobactérias, seguidas por um período (Período II) de baixas biomassas e maior riqueza em termos de classes taxonômicas (Figura 16). Este padrão foi verificado em todos os pontos amostrais.

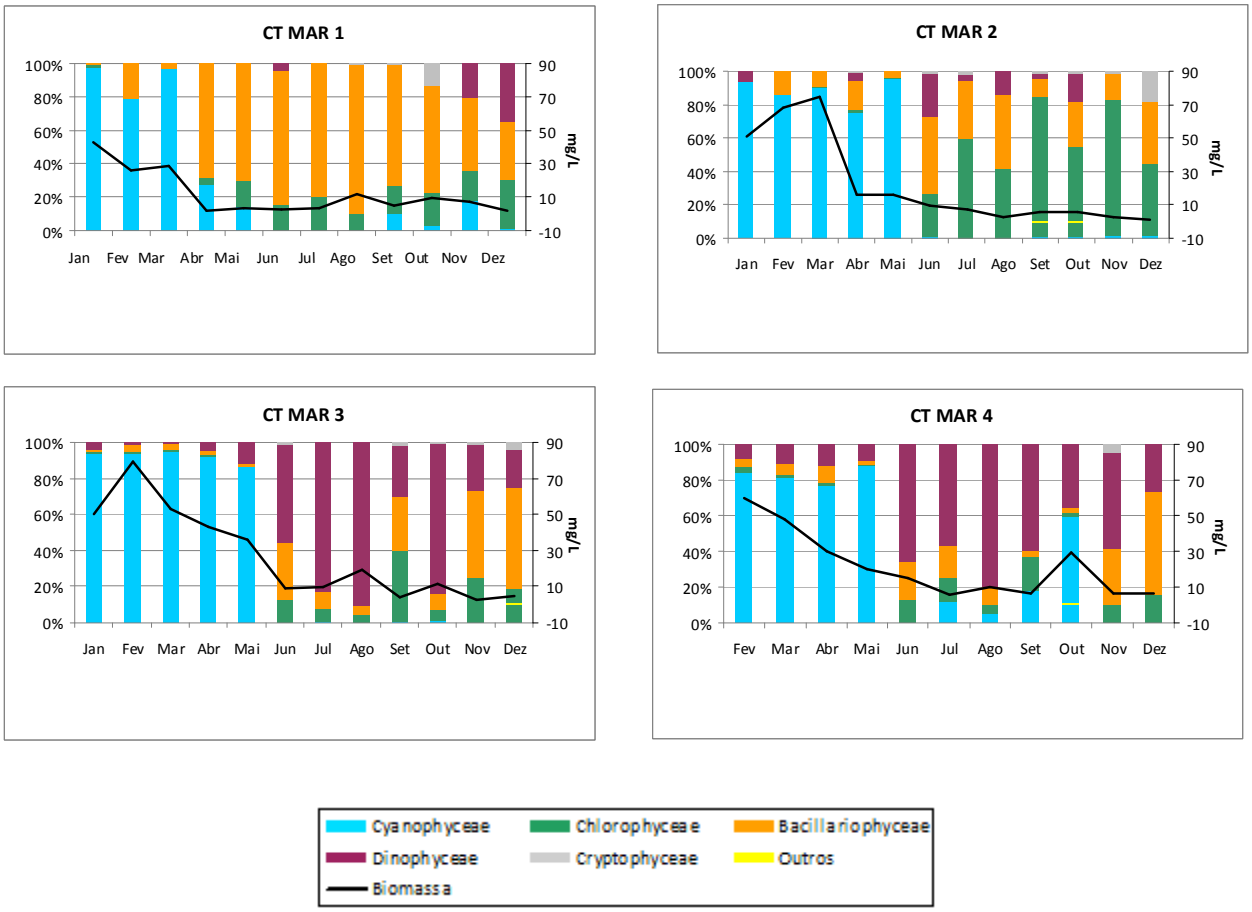


Figura 16 – Variabilidade Temporal da Contribuição Percentual (barras) e Biomassa total (linha)das Classes Taxonômicas nas quatro estações de coletas

6.3.2.4. Grupos Funcionais

Os organismos que contribuíram com mais de 5% da biomassa fitoplanctônica foram alocados em dez grupos funcionais. (Quadro 5).

Quadro 5 – Grupos Funcionais Encontrados na Lagoa de Marapendi

Classe	Táxon	GF
Cyanophyceae	*Aphanizomenon gracile*	H1
	Aphanocapsa delicatissima	K
	Chroococcus sp.	
	Aphanocapsa incerta	
	Merismopedia sp.	
	Microcystis aeruginosa	M
	Oscillatoriales	S1
	Planktothrix agardhii	
Cryptophyceae	*Rhodomonas* sp.	X2
Chlorophyceae	*Desmodesmus opoliensis*	J
	Desmodesmus protuberans	
	Scenedesmus obliquus	
	Scenedesmus quadricauda	
	Scenedesmus sp.	
	Pseudogoniochloris cf. *tripus*	
	Chlorella cf. *minutíssima*	X1
	Chlorella cf. *vulgaris*	
	Chlorococcales	
	Monoraphidium sp.	
Bacillariophyceae	*Coscinodiscus* sp.	C
	Cyclotella cf.meneghiniana	
	Aulacoseira sp.	
	Nitzschia cf. *acicularis*	MP
Dinophyceae	*Prorocentrum* spp.	Y

6.3.2.4.1 Contribuição dos Diferentes Grupos Funcionais para a Biomassa Fitoplanctônica Total

Ao analisarmos a contribuição de cada grupo funcional, comparada à biomassa total, o que obtemos é um padrão de comportamento comum a todos os pontos de coleta, onde há um período de elevada biomassa total (Período I – janeiro a abril), seguido por um período de queda da biomassa (Período II – maio a dezembro), com pequenos aumentos nos meses de agosto e outubro.

Em todos os pontos, o Período I (quente e chuvoso) esteve associado a uma dominância de grupos funcionais formados por cianobactérias, como S1, M, K e H1. O Período II (mais frio e seco) não só esteve relacionado às menores biomassas, mas também a uma maior riqueza em termos de classes e grupos funcionais (Figura 17).

Este segundo período do ano, apesar de ter como característica compartilhada por todos os pontos amostrais a maior riqueza em relação ao período I, apresentou diferenças quanto ao grupo predominante. No ponto Mar 1 a maior contribuição no período II foi dada pelo grupo C, formado basicamente por diatomáceas cêntricas. Estas estiveram presentes em todos os pontos amostrais.

O ponto Mar 2 foi marcado por uma grande contribuição do grupo X1, formado por pequenos organismos com alta razão superfície/volume, enquanto que os pontos Mar 3 e Mar 4 tiveram uma grande contribuição do grupo Y, formado por Dinophyceae essencialmente marinhos.

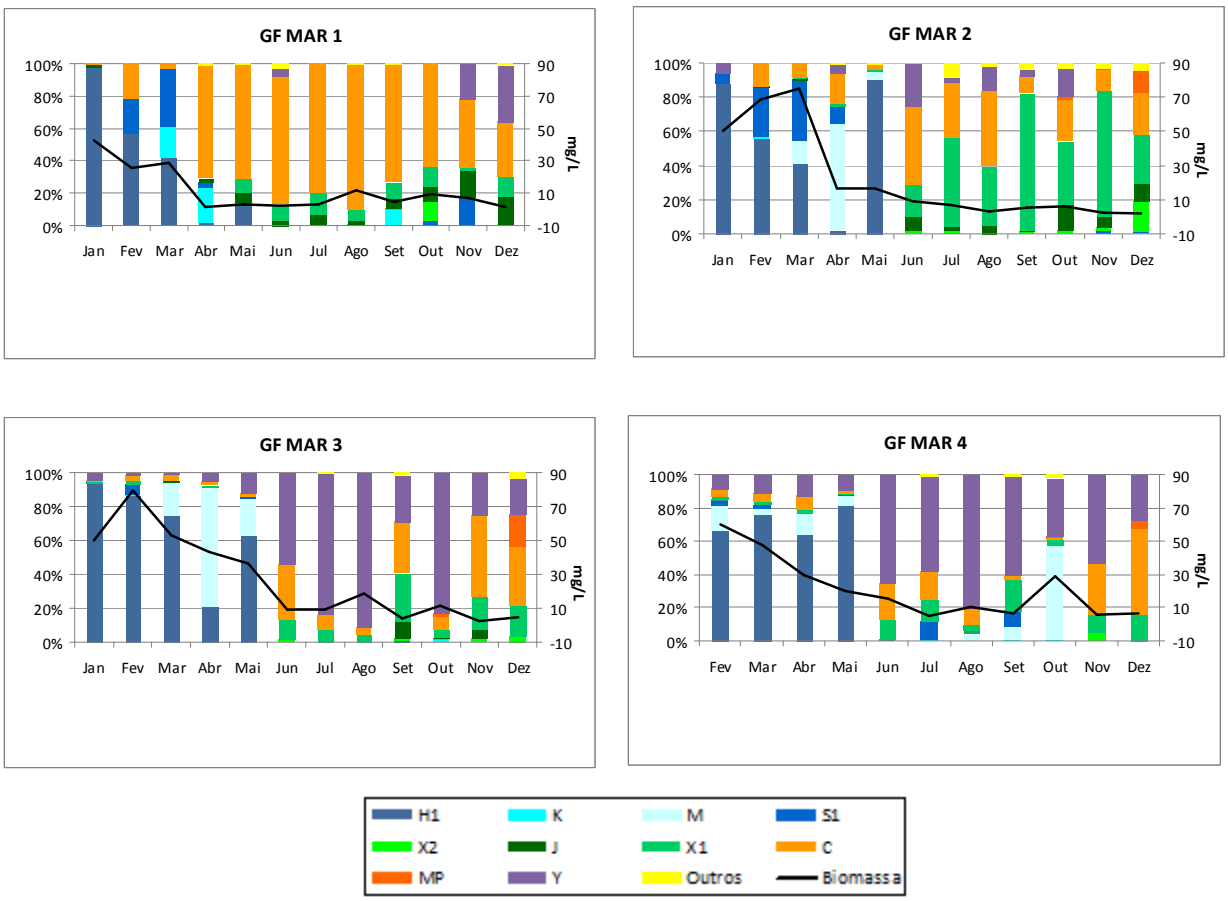


Figura 17 – Variabilidade Temporal da Contribuição Percentual (barras) e Biomassa Total (linha) dos Grupos Funcionais nas quatro estações de coletas.

6.3.2.5 Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFG)

Seis dos sete grupos funcionais baseados na morfologia (MBFG) puderam ser observados na lagoa de estudo (Quadro 6), com suas distintas características morfológicas e estratégias adaptativas.

Quadro 6 – Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFG) Encontrados na Lagoa de Marapendi.

MBFG	Características	Táxon
G I	Pequena MDL, baixo volume, alta S/V . Alguns membros com impacto negativo sobre a qualidade da água. Rápido crescimento, r-selecionados.	*Aphanocapsa delicatissima Aphanocapsa incerta Merismopedia* sp. *Chlorella* cf. *minutissima* *Chlorella cf. vulgaris* *Chlorococcales* *Monoraphidium* sp.
G III	Filamentos grandes com aerótopo, alta S/V, boas antenas de luz, capacidade de fixar nitrogênio. Potencialmente tóxicos – resistência a herbivoria Crescimento lento, K-selecionados.	*Aphanizomenon gracile* *Planktothrix agardhii*
G IV	Tamanho médio, sem traços especializados. Suscetíveis a perdas por pastagem. Desde r-selecionados a k-selecionados.	*Oscillatoriales* *Desmodesmus opoliensis* *Desmodesmus protuberans* *Scenedesmus quadricauda* *Scenedesmus* sp. *Pseudogoniochloris* cf. *tripus*
G V	Flagelados unicelulares de tamanho médio a grande. Redução no afundamento, bom forrageamento. Produção de cistos – tolerância a baixa concentração de nutrientes. Desde r-selecionados a k-selecionados.	*Rhodomonas* sp.. *Prorocentrum* spp.
G VI	Não flagelados com exoesqueleto silicoso. Desde r-selecionados a k-selecionados.	*Coscinodiscus* sp. *Cyclotella* cf.*meneghiniana* *Aulacoseira* sp. *Nitzschia* cf. *acicularis*
G VII	Grandes colônias mucilaginosas. Sensível à oferta insuficiente de recursos. Potencialmente produtoras de toxinas e alelopáticos. k-selecionados	*Microcystis aeruginosa*

6.3.2.5.1 Contribuição dos Diferentes Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFG) para a Biomassa Fitoplanctônica Total

De um modo geral, no primeiro período do ano, correspondente aos meses de janeiro a abril, houve uma grande dominância do grupo III, formado basicamente por organismos filamentosos e portanto com alta razão S/V. Neste mesmo período, os pontos Mar 2, Mar 3 e Mar 4 apresentaram também o grupo VII. Grupo este formado

por grandes colônias mucilaginosas, onde os organismos possuem aerótopos e, portanto, capacidade de migrar na coluna d'água (Figura 18).

No segundo período do ano, que vai de março a dezembro houve, não só menor biomassa fitoplanctônica, mas também uma maior riqueza em termos de grupos.

O grupo I, formado por pequenos organismos com alta razão S/V e rápido crescimento, esteve presente em todos os pontos amostrais, atingindo grande dominância no ponto Mar 2.

Um outro grupo presente em todos os pontos amostrais foi o grupo IV, formado por organismos de tamanho mediano, sem especializações características, além do grupo V, formado por organismos flagelados de maior tamanho.

O grupo VI, formado por grandes Bacillariophyceae (diatomáceas cêntricas), apresentou uma pequena contribuição nos pontos Mar 1, Mar 2 e Mar 4 no segundo período do ano.

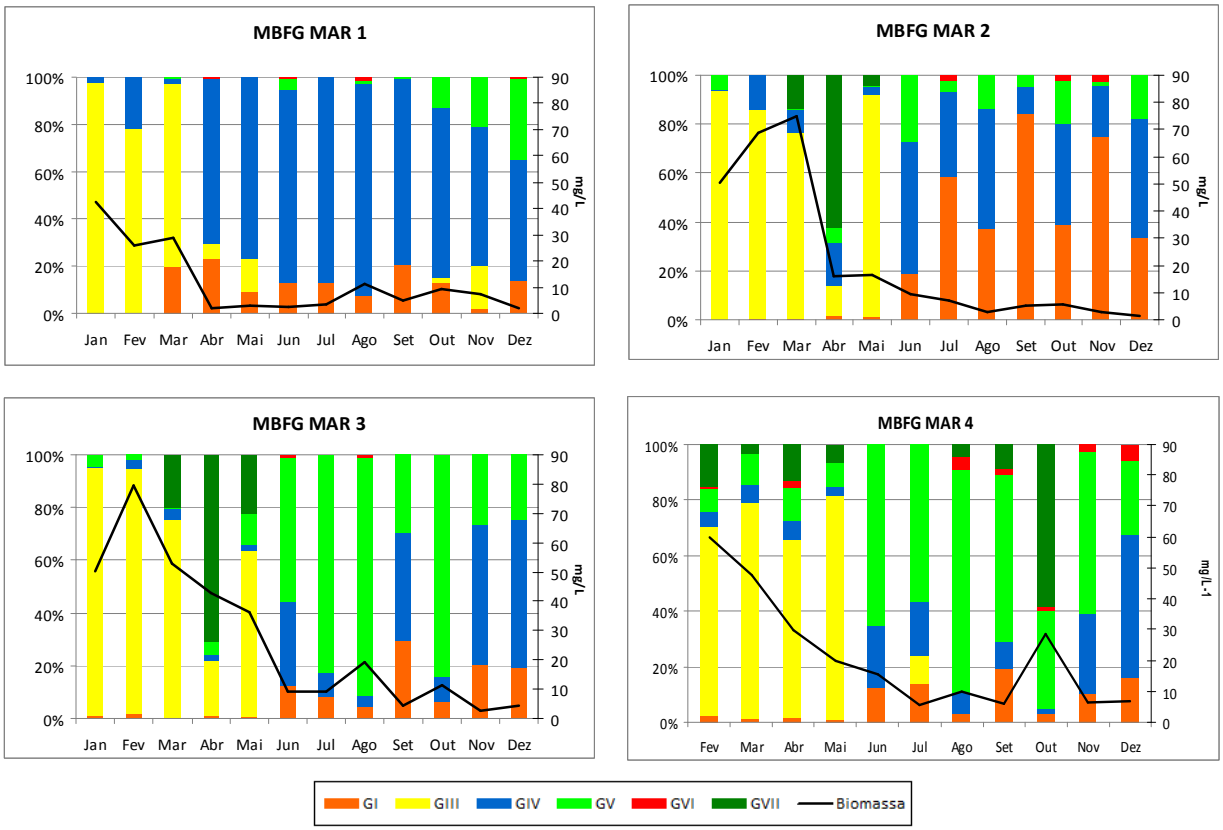


Figura 18 – Variabilidade Temporal da Contribuição Percentual (barras) e Biomassa Total (linha) dos Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFG), nas quatro estações de coletas.

6.4 Correlações entre a Comunidade Fitoplanctônica e as Variáveis Ambientais

Na tentativa de compreender a dinâmica da comunidade fitoplanctônica, foram realizadas análises multivariadas de redundância para todas as abordagens utilizadas.

A análise de redundância (RDA) das classes taxonômicas obteve uma explicabilidade de 61% para os dois primeiros eixos, enquanto que a RDA dos grupos funcionais e dos grupos funcionais baseados na morfologia foram respectivamente explicados em 60% e 57%.

A análise das classes taxonômicas apresentou uma correlação de cerca de 71% entre a matriz biológica e a explicadora nos dois eixos (Tabela 8). Essa análise, assim como a PCA, ressaltou a existência de dois períodos distintos na lagoa. Um período (Período I) caracterizado principalmente por maiores temperaturas, maior pluviosidade, menor transparência da coluna d'água e menor concentração de nutrientes. Neste período ocorreu uma grande dominância de cianobactérias (Cy). O período II, com maior disponibilidade de nutrientes e maior transparência, apresentou também a co-ocorrência de criptofíceas (Cry), diatomáceas (Diat) e Chlorophyceae (Chlor). Neste mesmo período, situações de alta salinidade favoreceram a ocorrência de Dinophyceae (Din) tipicamente marinhos (Figura 19).

Tabela 8 - Valores de Correlação Entre as Matrizes Biológicas e Explicadoras.

	Eixo 1	Eixo 2
Autovalores CT-ambiente	0,51	0,09
Correlações CT-ambiente	0,84	0,71
Autovalores GF-ambiente	0,46	0,21
Correlações GF-ambiente	0,81	0,73
Autovalores MBFG-ambiente	0,45	0,08
Correlações MBFG-ambiente	0,86	0,68

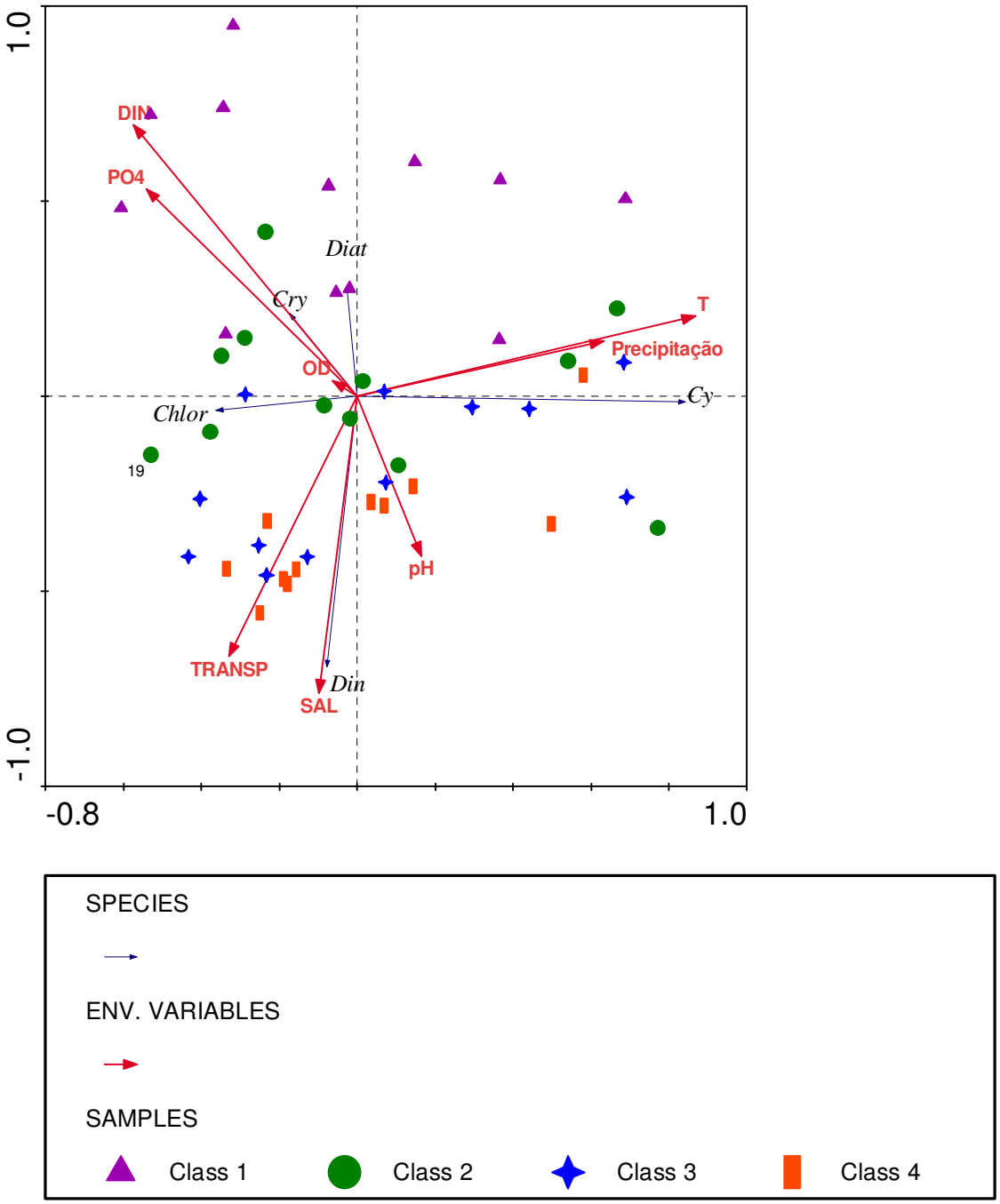


Figura 19 – RDA das Classes Taxonômicas; Class 1 – MAR 1, Class 2 – MAR 2, Class 3 – MAR 3, Class 4 – MAR 4.

A RDA dos grupos funcionais, também destacou a existência de dois períodos distintos, estando os grupos K, S1, H1, M e MP positivamente relacionados ao período do ano marcado por maiores temperaturas e pluviosidades, enquanto os grupos J, X2, C, X1 e Y ocorreram em menores temperaturas, maiores concentrações de nutrientes, maiores transparências e salinidade (Figura 20).

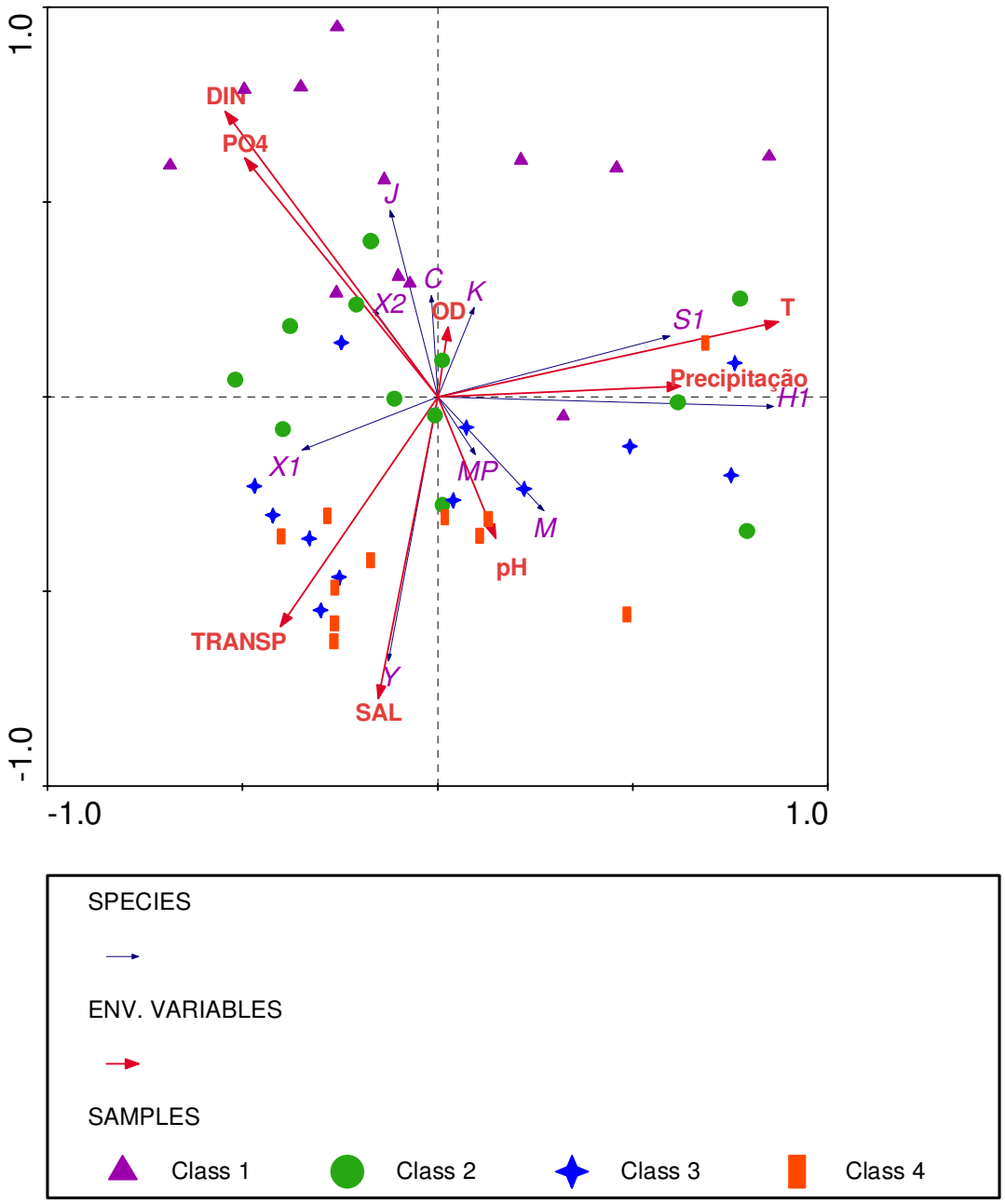


Figura 20 – RDA dos Grupos Funcionais; Class 1 – MAR 1, Class 2 – MAR 2, Class 3 – MAR 3, Class 4 – MAR 4.

A RDA dos grupos funcionais baseados na morfologia não exibiu um padrão muito diferente das anteriores (Figura 21). Nesta, o grupo III foi o que apresentou a maior correlação com a temperatura e pluviosidade. O grupo VII, além de positivamente relacionado à temperatura esteve fortemente associado ao pH. O grupo IV apresentou correlações positivas com o OD, a temperatura e os nutrientes. O grupo V mostrou uma correlação negativa com a temperatura e uma grande correlação positiva com a salinidade. Já os grupos I e VI mostraram correlações positivas com os principais recursos, como nutrientes e transparência.

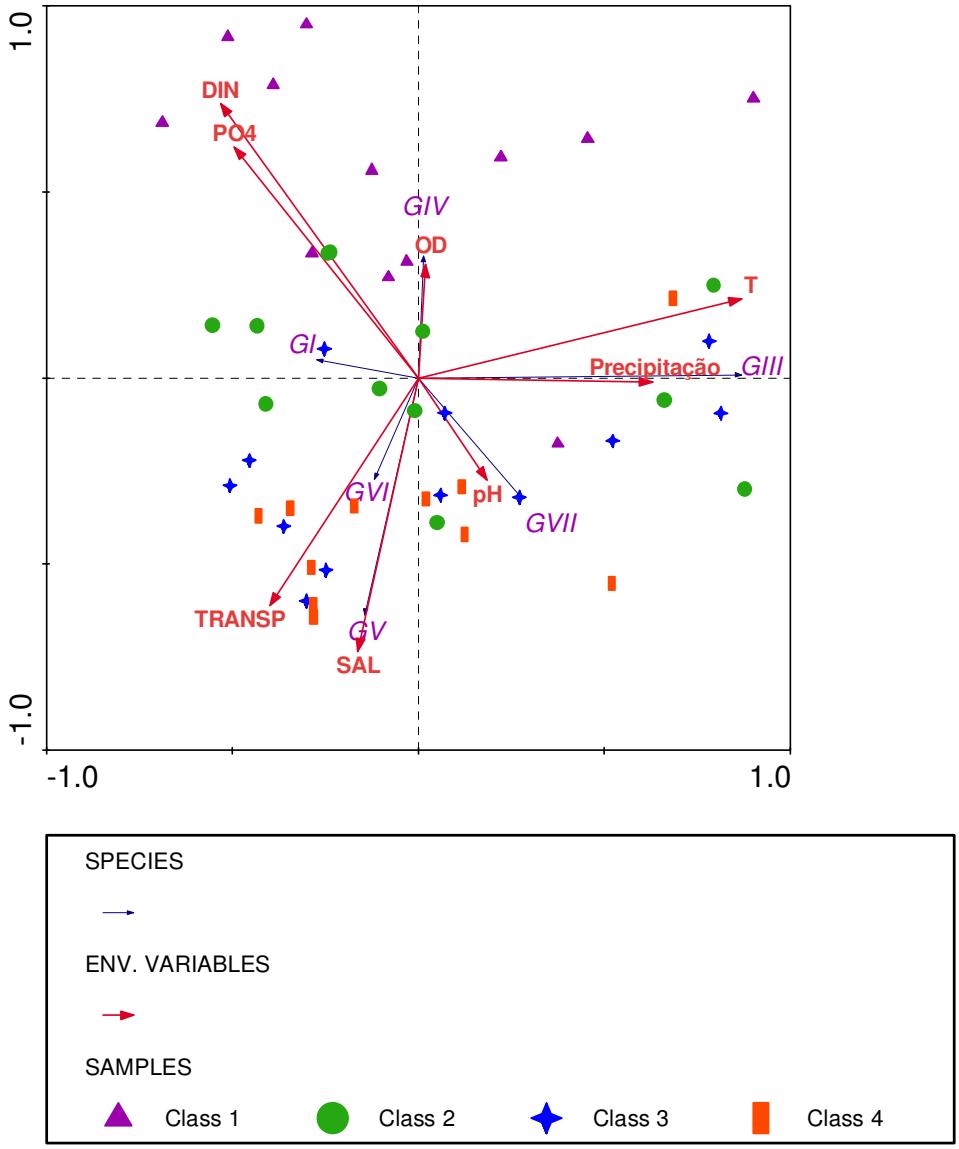


Figura 21 – RDA dos Grupos Funcionais Baseados na Morfologia; Class 1 – MAR 1, Class 2 – MAR 2, Class 3 – MAR 3, Class 4 – MAR 4.

7 DISCUSSÃO

7.1 Dinâmica das Variáveis Abióticas e sua Influência sobre o Fitoplâncton

Na lagoa de Marapendi foi evidente a variabilidade temporal, marcada por um período quente e chuvoso que vai de janeiro a abril e um período frio e seco, de maio a dezembro, sem apresentar, contudo, estratificação térmica da coluna d´água bem definida. Isso pode ser explicado pela baixa profundidade média do sistema, com cerca de 1,8 metros, além da força exercida pela ação do vento, fatores estes capazes de proporcionar misturas diárias de suas águas. De fato, a Baixada de Jacarepaguá apresenta-se submetida à ação de ventos constantes que variam de direção com predominância dos ventos de sudoeste e as brisas marinhas continentais, estando localizada numa área intertropical com intensa insolação anual (MARQUES, 1984). Segundo Esteves (1998b) em lagoas costeiras é frequente observar ausência de estratificação térmica duradoura, especialmente naqueles ecossistemas em que a atuação do vento é facilitada pela ausência de montanhas nas proximidades, além de outros fatores como espelho d' água com grande área em relação à profundidade do corpo d' água.

No ambiente de estudo, o ponto MAR 4, comunica-se com a lagoa da Tijuca através do canal de Marapendi que por sua vez estabelece uma ligação direta com o Canal da Joatinga, cuja amplitude máxima de maré é da ordem de 1,5 m, respondendo pela penetração de água salgada na lagoa, e mantendo suas águas salobras (COHIDRO, 2006). Em geral, na Lagoa de Marapendi não foi verificada estratificação química influenciada por diferentes concentrações de salinidade na lagoa, exceto no ponto MAR 4, onde ocorreu uma estratificação decorrente da maior influência marinha. Essa influência do mar favoreceu também uma estratificação térmica mais estável por conta da entrada de águas mais frias e densas.

Em geral foram observados perfis clinogrados de distribuição do OD em todos os pontos amostrais. Segundo Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008), a atividade fotossintética é a fonte de oxigênio dissolvido na água. Por outro lado, as principais perdas se dão pelo consumo, decomposição da matéria orgânica (oxidação), perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos. Apesar da reduzida profundidade dos pontos amostrais, o que potencialmente favoreceria a ação dos ventos na homogeneização de oxigênio na coluna d' água, perfis clinogrados foram encontrados, indicando uma elevada atividade fotossintética na camada mais superficial, já que a luz pode ter sido um fator limitante nas camadas mais profundas. Esse fato pode ser corroborado pelos baixos valores da zona eufótica.

A lagoa apresentou dois períodos marcados por maiores concentrações de oxigênio nas camadas mais superficiais, um de janeiro a março e outro de junho a setembro. As altas concentrações de OD nos meses iniciais do ano podem ser explicadas pelas elevadas biomassas fitoplanctônicas, representadas, sobretudo pelas elevadas biomassas de cianobactérias. Estas elevadas biomassas, associadas às maiores temperaturas e radiação dos meses iniciais do ano, estariam relacionadas à maior atividade biológica e, portanto, altas taxas fotossintéticas, principalmente na superfície, o que influenciou as elevadas concentrações e existência do perfil clinogrado de OD. Nos meses de junho à setembro as elevadas concentrações de OD coincidiram com as menores temperaturas, o que pode estar relacionado ao fato do oxigênio dissolvido ser mais solúvel em temperaturas menores (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

A transparência, medida pelo disco de Secchi, é função, essencialmente, da reflexão da luz na superfície do corpo d'água e é, por isso, influenciada pelas características da absorção da água e da matéria orgânica nela dissolvida ou em suspensão (WETZEL, 1993). Do ponto de vista óptico, a transparência é considerada o oposto da turbidez (ESTEVES, 1998a). A Lagoa de Marapendi possui sedimentos orgânicos em processo ativo de decomposição favorecida pela baixa taxa de renovação das águas, lançamento pontual e difuso de esgoto e proliferação de plantas aquáticas (LIARS MICROARS, 2002 apud SAMPAIO, 2008). Assim, a lagoa foi caracterizada por reduzida transparência da coluna d'água, e consequentemente, reduzida zona eufótica

influenciada principalmente, pela re-suspensão de sedimentos em função da escassa profundidade e forte ação dos ventos. Além disso, nesse primeiro período do ano de estudo, apesar dos elevados valores de radiação, característicos dos meses de verão, a transparência foi também reduzida devido à elevada biomassa do fitoplâncton que pode ter causado um efeito de auto-sombreamento para as algas.

A interpretação do pH é algo extremamente complexo, uma vez que um grande numero de fatores podem influenciá-lo (ESTEVES, 1998b). Os valores de pH da lagoa mantiveram-se levemente alcalinos, o que pode ser atribuído à influencia marinha (contribuições de carbonatos e bicarbonatos). Os perfis verticais de pH mostraram-se fortemente influenciados pela atividade fotossintética, com valores alcalinos na superfície e valores neutros nas camadas próximas ao sedimento. Entre as variáveis que atuam sobre o pH, o fitoplâncton, através do processo fotossintético, eleva o pH do meio através da assimilação do CO_2, enquanto que os organismos heterotróficos (bactérias e animais aquáticos) tendem a baixar seus valores.

Considerando que a Lagoa de Marapendi é um ecossistema eutrófico, as concentrações de nutrientes, principalmente de N e P, não foram capazes de limitar o crescimento da biomassa fitoplanctônica. O ambiente de estudo caracterizou-se por altas concentrações de NID, com médias superiores a 1.000 μgL^{-1} sendo esta, predominantemente representada por NH_4^+ e 10 vezes maior do que é citada como limitante ao crescimento do fitoplâncton (REYNOLDS, 1999, 2006). Além do nitrogênio, o fósforo é tido como elemento-chave na regulação da produtividade dos ecossistemas e, talvez, seja o nutriente mais importante na maioria dos ecossistemas aquáticos (BREZONIK e POLLMAN 1999). Para o sistema de Marapendi, as menores concentrações de PSR (20 μgL^{-1}) foram muito acima da concentração de 10 μgL^{-1} citada como limitante ao crescimento fitoplanctônico (SAS, 1989).

7.2 Dinâmica do Fitoplâncton

As modificações verificadas nas variáveis abióticas e bióticas em escala temporal contribuem para alterações no comportamento das comunidades fitoplanctônicas. A modificação sazonal destes resulta no estabelecimento de processos sucessionais da comunidade fitoplanctônica (REYNOLDS *et al*., 2002).

Em geral, a seleção de espécies coexistentes do fitoplâncton depende dos fatores biogeográficos evidentes e das condições locais, tais como temperatura, luz, nutrientes e salinidade. Tais fatores permitem-nos estimar relativamente bem a abundância do fitoplâncton através da estimativa das concentrações de clorofila-*a*, ou pelo biovolume (MCCAULEY *et al*., 1990; SCHEFFER *et al*., 2003). No entanto, a composição da comunidade é menos facilmente prevista (KRUK *et al*., 2011).

Ao contrário do que é encontrado em regiões temperadas, ecossistemas tropicais exibem uma sucessão de associações de cianobactérias, que muitas vezes dominam todo um ciclo sazonal (MARINHO e HUSZAR, 2002).

Em regiões temperadas, a dinâmica sazonal do fitoplâncton está fortemente associada com o regime climático da luz e da temperatura (CONLEY *et al*., 2000). Contudo, sistemas tropicais como a Lagoa de Marapendi apresentam pouca variação de temperatura anual e as mudanças sucessionais na comunidade de algas são o resultado de padrões sazonais de precipitação, com esperada estruturação de algas diferentes nas estações chuvosa e seca (IBANEZ, 1998).

Apesar da dificuldade em estabelecer padrões de sucessão em ambientes tropicais eutróficos tal qual a Lagoa de Marapendi, foi possível detectar a presença de um padrão na sucessão do período I para o período II. As cianobactérias foram os organismos predominantes no período I, que corresponde ao verão, enquanto outras classes foram importantes em outras épocas do ano como Clorofíceas, Diatomáceas e Criptofíceas. De fato, em condições de temperatura elevada as cianobactérias apresentam uma vantagem competitiva em relação aos demais grupos, uma vez que sua taxa de crescimento é favorecida em temperaturas acima de 25ºC (PAERL e HUISMAN 2009; DOKULIL & TEUBNER 2000;. DOWNING *et* a*l*., 2001).

No entanto, a temperatura média do sistema foi de cerca de 26,8ºC ao longo do ano de 2008, com baixo coeficiente de variação de temperatura, o que indica que este fator não pode ser o único direcionador da sucessão de uma dominância de cianobactérias para os outros grupos. Mas atua em conjunto com outras variáveis ambientais.

De fato, o período I foi marcado por uma floração de cianobactérias, havendo neste período, a associação de uma grande concentração de nutrientes com elevadas temperaturas, o que vêm a ocasionar um aumento na atividade biológica, e portanto, um incremento na biomassa fitoplanctônica local. Tal processo resultou na redução das concentrações de nutrientes dissolvidos e acúmulo na própria biomassa. Estas elevadas biomassas vieram ainda a ocasionar um efeito de auto-sombreamento da coluna d'água.

Com a mudança sazonal do Período I para o Período II, houve um grande decréscimo da biomassa de cianobactérias, juntamente com um incremento na concentração de nutrientes dissolvidos, indicando que estes possivelmente estiveram estocados na biomassa fitoplanctônica.

Com a perda da dominância de cianobactérias e crescente enriquecimento do ecossistema, há uma crescente contribuição de diatomáceas, especialmente no ponto Mar 1, ponto que apresentou as maiores correlações com os nutrientes na análise de componentes principais.

Uma outra consequência do término da floração é o fim do efeito de auto-sombreamento, o que caracteriza o Período II como um período de maior disponibilidade de recursos (luz e nutrientes), possibilitando, portanto, maior riqueza em termos de Classes taxonômicas.

As diatomáceas, que apresentaram crescente contribuição neste período, podem ser considerados organismos colonizadores rápidos e eficientes, que apresentam uma divisão celular mais rápida do que outras classes, devido à sua alta taxa de crescimento. Outro fator que favorece o predomínio destes organismos é a presença de uma parede celular resistente, composta de sílica, que vem a dificultar a predação por copépodos ou pequenos predadores flagelados (CLOERN & DUFFORD, 2005, RODRIGUES & BICUDO, 2001).

As Clorofíceas também contribuíram com a biomassa do período II. Estas se caracterizam por apresentar grande riqueza de formas e organização celular,o que vem a possibilitar a existência de várias estratégias de sobrevivência , além da ocupação de variados tipos de ambientes (REYNOLDS, 1997; PERES e SENNA, 2000). As Clorofíceas foram representadas, sobretudo, por pequenas Chlorococcales, que devido ao tamanho reduzido de suas células e à elevada razão superfície/volume, têm sua capacidade de absorver nutrientes aumentada e, portanto, possuem rápido crescimento. Tratam-se de organismos oportunistas que dependem da turbulência da água para se manterem em suspensão (HAPPEY-WOOD, 1988).

Os dinoflagelados tiveram grande contribuição nos pontos MAR3 e MAR4, pontos de maior concentração salina. De fato tratavam-se de indivíduos do gênero *Prorocentrum*, tipicamente marinhos. Tais organismos costumam estar associados a estratificação da coluna d'água, o que não ocorria na lagoa de Marapendi no período de estudo.

Condições de altas concentrações de nutrientes e elevadas temperaturas constituem ambientes ideais para a ocorrência de florações de dinoflagelados (MARGALEF, 1978; SELLNER *et al*, 2001; HAINES *et al*. 2000). Uma das espécies de Prorocentrum encontradas foi o *Prorocentrum minimum* (Pavillard) Schiller, já descrito no Complexo Lagunar de Jacarepaguá por Sampaio (2008). Relatos indicam a ocorrência anual de florações destes organismos em uma baía de baixa transparência (GALLEGOS & BERGSTROM 2005; STOECKER *et al*.,1997; TANGO *et al*., 2005). Tal espécie tem gerado uma crescente preocupação devido a sua capacidade de produzir toxinas, que dentre outras consequencias podem causar impactos devido ao consumo de águas ou mariscos contaminados (HEIL *et al*., 2005). Entretanto, devemos levar em consideração a existência de grandes diferenças no potencial de toxicidade entre diferentes cepas (TANGO *et. al*. 2005).

Apesar do certo grau de previsibilidade da ocorrência de cianobactérias, diferentes espécies com diferentes estratégias podem ser selecionadas e/ou favorecidas pelas condições ambientais vigentes. A predição da composição da comunidade em nível de grandes grupos taxonômicos pode não ser tão bem sucedida quanto a abordagem baseada em grupos funcionais (KRUK *et al*. 2002; 2011), uma vez que as classes

taxonômicas incluem espécies com grande diversidade de formas, tamanhos e estratégias adaptativas, relacionadas à obtenção de recursos (REYNOLDS 2006; KRUK *et al*. 2010).

Apesar da importância dos grupos taxonômicos, muitos estudos sobre grupos funcionais têm mostrado sua melhor eficiência como bioindicadores do que a utilização de agrupamentos filogenéticos, compostos por indivíduos muito diferentes na forma, tamanho e exigências ecológicas (HUSZAR e CARACO, 1998; KRUK *et al*., 2002). Segundo Reynolds *et al*. (2002), com os grupos funcionais é possível prever a presença de espécies individuais em determinado local, oferecendo uma melhor e mais clara maneira para compreender e prever a distribuição e dinâmica natural do fitoplâncton.

A utilização dos grupos funcionais em estudos ecológicos tem se mostrado adequada tanto para ambientes temperados, onde foi inicialmente proposta, como para ambientes tropicais (MELO e HUSZAR, 2000; MARINHO e HUSZAR, 2002; NABOUT *et al*., 2006).

A vantagem da abordagem de grupos funcionais é que esta vem a resumir extensas listas de espécies a cerca de 40 grupamentos (PADISÁK *et al*. 2009; REYNOLDS *et al*. 2002) onde os organismos compartilham ¨traits¨ semelhantes, como taxas de crescimento, de sedimentação e constantes de semi-saturação para absorção de nutrientes, além de apresentarem adaptações similares às condições ambientais (REYNOLDS, 1997).

Através da análise de redundância para as classes taxonômicas o período I foi caracterizado por altas temperaturas, pluviosidade e elevada biomassa de cianobactérias, enquanto que na análise de redundância para os grupos funcionais este grande grupamento de organismos pôde ser desmembrado em três diferentes grupos funcionais formados por cianobactérias, com diferentes estratégias competitivas: i) grupo S1, positivamente relacionado à temperatura, mas negativamente associado à transparência, sendo esses organismos considerados como boas antenas de luz; ii) grupo K, formado principalmente por cianobactérias coloniais que, em lagos rasos temperados enriquecidos, podem ocorrer durante os meses de verão (REYNOLDS, 1997). Na Lagoa de Marapendi este grupo esteve positivamente correlacionado à temperatura e ao pH e, iii) grupo H1, também relacionado a altas temperaturas, e com

correlação inversa aos compostos nitrogenados. De acordo com Reynolds *et al*. (2002) os representantes deste grupo possuem vantagens adaptativas sobre outros organismos que ocorrem em ambientes com baixas concentrações de nitrogênio, pois possuem a capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, devido à presença de células especializadas. Apesar da lagoa em questão tratar-se de um ambiente eutrófico, onde os valores de NID, especialmente íon amônio foram elevados o ano inteiro, alguns indivíduos de *A. gracile* (grupo H1), encontrados na L. de Marapendi, apresentaram heterocitos. Assim, é provável que além do fato de serem bem adaptados para a captação de luz, a capacidade de fixação de nitrogênio tenha favorecido o grupo H1 em um período de grande biomassa fitoplanctônica.

De modo geral, os três grupos dominantes no período I são formados por cianobactérias descritas para ambientes rasos e eutrofizados (PADISÀK *et al.* 2009). Contudo, a maior parte da biomassa do período era correspondente à floração dos grupos H1 e S1, ambos formados por organismos filamentosos tolerantes à alta deficiência de luz (REYNOLDS *et al*. 2002).

A sucessão de grandes organismos filamentosos, para o predomínio de pequenos organismos, se dá a medida em que há o decréscimo de biomassa, juntamente com o maior aporte de recursos. De fato, organismos de pequeno tamanho e conseqüente alta razão superfície/volume são caracterizados por altas taxas de crescimento (REYNOLDS, 1997), possuindo positivas correlações, não só com o NID, mas com o fosfato, devido às altas taxas de reprodução e consequente necessidade de recursos (APPEL, 2010).

Dentre estes, encontra-se o grupo M, que apesar do tamanho diminuto de suas células, é capaz de formar grandes colônias com potencial de migrar na coluna d'água. Este mesmo grupo obteve fortes correlações positivas com o pH. Estudos apontam que as cianobactérias seriam favorecidas em maiores valores de pH (DANTAS, 2010; CARACO e MILLER 1998).

Em recente revisão da literatura, Brasil (2011) observou que os grupos funcionais do fitoplâncton de diferentes sistemas aquáticos brasileiros estiveram relacionados ao seu estado trófico. Porém, comparando com os principais grupos funcionais registrados para a Lagoa de Marapendi, encontramos diferenças. Naquele trabalho, são

mencionados pelo autor os grupos X1 (formado por organismos pequenos típicos de ambientes enriquecidos e mesclados) e C (diatomáceas penadas eficientes para captação de luz) em sistemas mesotróficos. Contudo, os estudos analisados pelo autor incluíram apenas duas lagoas costeiras, sendo uma oligotrófica (ALVES DE SOUZA *et al*. 2006) e outra eutrófica (HUSZAR *et al*. 2000), o que pode ter limitado a representatividade deste tipo de sistema na análise. Assim, o grupo X1 que na lagoa eutrófica esteve representado ora por cianobactérias (*Synechocystis aquatilis*) ora por pequenas Chlorophyceae(*Chlorella vulgaris* var. *autotrophica*) também esteve presente na lagoa de Marapendi, representado por pequenas Chlorophyceae, selecionadas por situações de elevada disponibilidade de nutrientes e luz (HUSZAR *et al.* 2000).

Outra divergência em relação ao estudo de Brasil (2011) está no grupo C, também relacionado aos sistemas mesotróficos. Na lagoa de Marapendi, este grupo foi constituído por diatomáceas cêntricas, não podendo, portanto, ser associado à condição de boa antena de luz, embora seja considerado um grupo funcional tolerante à limitação luminosa (REYNOLDS *et al.* 2002). Entretanto, na lagoa de Marapendi parece ser selecionado em função de estar adaptado a um sistema com elevada turbulência da coluna d'água.

Ainda é interessante notar que dois grupos funcionais de grande importância na Lagoa de Marapendi (H1 e Y), muito frequentes em sistemas brasileiros, não apresentaram boa correspondência com o grau de trofia (BRASIL, 2011). O grupo Y, em geral representado por espécies flageladas adaptadas à baixa disponibilidade de luz, na Lagoa de Marapendi se correlacionou positivamente com a salinidade, o que era esperado em função de ter sido constituído por espécies de ambiente marinho. O grupo H1, facilmente identificado conforme proposição de Reynolds *et al* (2002) por ser formado por espécies de nostocales fixadoras de nitrogênio, e portanto tolerantes à deficiência de nitrogênio, é frequentemente relatado em sistemas hipereutróficos rasos, embora seja sensível à mistura e a baixas condições de luz (REYNOLDS, *et al.* 2002).

De modo geral, a abordagem de grupos funcionais, apesar de ser mais rica em detalhes ecológicos do que a taxonomia tradicional, não apresentou diferenças marcantes no que diz respeito ao entendimento do sistema. Assim como mostrado por Brasil (2011), em um sistema raso, eutrófico e túrbido, houve dominância de algas

funcionalmente similares (filamentosas tolerantes à sombra), pertencentes a uma mesma classe taxonômica (Cianobactérias).

Tal similaridade entre as abordagens se deve ao fato da lagoa em questão ser um ecossistema onde a maior parte da biomassa corresponde a apenas um grupo taxonômico. No entanto, devemos levar em consideração que, apesar do baixo ganho em termos de compreensão do sistema, a abordagem dos grupos funcionais relacionou melhor a presença dos organismos com as condições ambientais, uma vez que as Cianobactérias, um grupo potencialmente tóxico, pode ser separado em grupos com diferentes estratégias adaptativas.

Embora a abordagem pragmática de entidades funcionais (sensu CLEMENTS, 1916) seja atraente, não há uma base óbvia para tal classificação (KRUK *et al*. 2009, 2010). Características funcionais relevantes para o fitoplâncton devem refletir a capacidade de adquirir recursos (luz e nutrientes), para crescer e para evitar a mortalidade (MARGALEF, 1978; REYNOLDS, 1984). Contudo, há uma relativa escassez de informações sobre características fisiológicas do fitoplâncton, o que pode vir a limitar o uso de uma abordagem funcional que se baseie em sensibilidades e tolerâncias (REYNOLDS *et al.*, 2002;. SALMASO e PADISÁK, 2007; MIELEITNER *et al*, 2008). Em contrapartida, a abordagem dos grupos funcionais baseados na morfologia é um método mais simples que parte do princípio de que a morfologia irá refletir a capacidade de obtenção de recursos.

Através da análise de redundância dos grupos funcionais baseados na morfologia, pode-se observar uma forte correlação positiva entre o grupo III, temperatura e pluviosidade. Este mesmo grupo encontra-se inversamente relacionado à transparência uma vez que estes organismos filamentosos, de alta razão S/V funcionam como boas antenas de luz (KRUK *et al.*, 2010). As espécies desse grupo podem ser caracterizadas como K-selecionadas (PIANKA, 1970) por serem grandes, com crescimento lento, mas com alta S/V, o que confere uma maior tolerância a condições limitantes de luz (NASELLI-FLORES e BARONE 2007).

A medida em que este grupo tem sua biomassa diminuída com o término do período quente e chuvoso, o efeito de auto-sombreamento vem a cessar, de modo que

o aumento de recursos principalmente relacionados à luz, provavelmente possibilitaram uma maior riqueza fitoplanctônica.

Estudos indicam que a dominância por Cianobactérias filamentosas tolerantes à sombra pode ser um estado alternativo da comunidade fitoplanctônica em lagos rasos, por serem capazes de causar um aumento na turbidez, favorecendo suas próprias vantagens competitivas (SCHEFFER, 1998 apud BRASIL, 2011).

O grupo I foi o que apresentou a maior correlação positiva com os recursos, uma vez que este grupo é formado por organismos r-selecionados (PIANKA, 1970) com alto requerimento e adaptados à rápida obtenção de recursos (REYNOLDS, 1984).

Em síntese, a Lagoa de Marapendi apresentou dois períodos distintos (Figura 22), onde o período I era caracterizado por elevada temperatura associada à grande concentração de nutrientes. Esta grande disponibilidade de recursos vem a possibilitar um aumento na atividade biológica, e portanto, um incremento na biomassa fitoplanctônica. As elevadas biomassas características deste período, vêm gerar um efeito de auto-sombreamento da coluna d'água, capaz de selecionar organismos que funcionem como boas antenas de luz, tal qual os grupos H1 e S1, na abordagem dos grupos funcionais, que correspondem ao grupo III na abordagem dos grupos funcionais baseados na morfologia. Esta elevada biomassa prioritariamente filamentosa, esteve relacionada à uma grande atividade fotossintética, e portanto, à um incremento na concentração de oxigênio e diminuição da concentração de dióxido de carbono, o que vem a elevar o pH e possibilitar a presença do grupo M na abordagem dos grupos funcionais, que equivale ao grupo VII na abordagem dos grupos funcionais baseados na morfologia.

Com o término do Período I e início do período II, há uma diminuição da temperatura e da pluviosidade, ocasionando um aumento da salinidade. Esta maior salinidade esteve relacionada à presença do grupo Y de acordo com a abordagem de grupos funcionais, e que corresponde ao grupo V na abordagem dos grupos funcionais baseados na morfologia. As menores temperaturas e pluviosidades do período II estiveram associadas à menor atividade biológica e consequente diminuição da biomassa fitoplanctônica. A diminuição da biomassa esteve relacionada ao aumento nas concentrações de nutrientes, sugerindo que estes estariam estocados na própria

biomassa. Com o término do efeito de auto-sombreamento causado pela elevada biomassa, houve um aumento da transparência do sistema. Uma vez que houve um maior aporte dos recursos luz e nutrientes, o período II foi caracterizado então pela ocorrência de organismos r-selecionados.

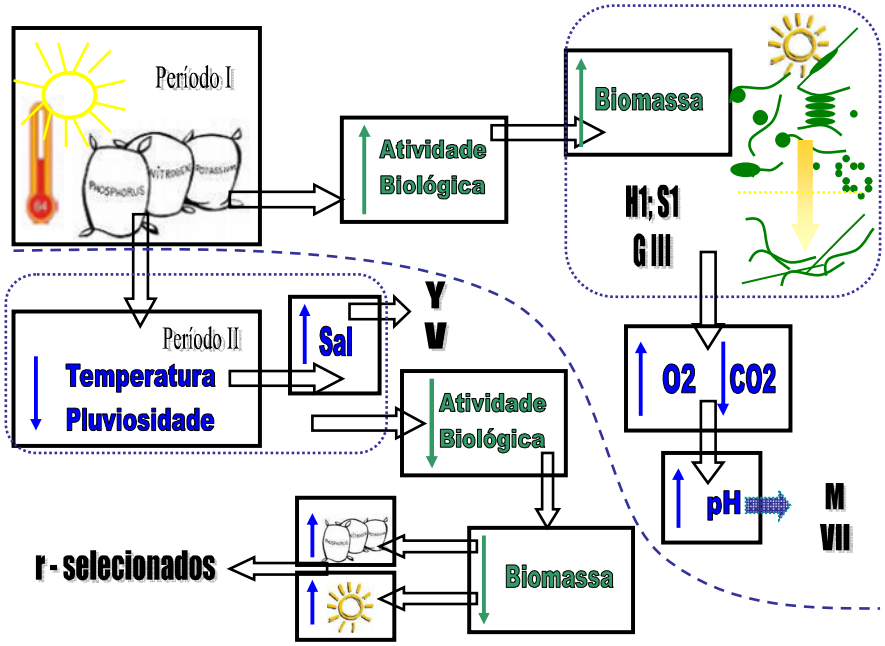


Figura 22 – Dinâmica fitoplanctônica da Lagoa de Marapendi e seus principais fatores direcionadores.

Todas as abordagens se mostraram igualmente eficazes na descrição do ambiente. Contudo, a abordagem dos grupos funcionais (REYNOLDS, 2002), apesar de mais complexa, mostrou ser mais rica em termos de informações ecológicas. Ao passo que a abordagem dos grupos funcionais baseados na morfologia (KRUK *et al.*, 2010) trata-se de um método de muito mais fácil utilização, e que para um sistema eutrófico e raso tal qual Marapendi, possibilita uma boa compreensão da dinâmica local.

8 CONCLUSÕES

A Lagoa de Marapendi é um sistema eutrófico e raso, marcado pela existência de dois períodos distintos, fortemente associados a fatores sazonais, onde a baixa transparência é decorrente não só da re-suspensão e ação dos ventos, mas também do efeito de auto-sombreamento causado pelas elevadas biomassas.

Os dados indicam que luz e a temperatura seriam os principais fatores regentes da dinâmica fitoplanctônica de um ecossistema tal qual a lagoa de Marapendi.

O período I foi caracterizado por altas temperaturas, radiações e pluviosidades, juntamente com elevadas biomassas decorrentes de florações de cianobactérias. Neste mesmo período ocorre um auto-sombreamento do fitoplâncton que vem a selecionar organismos filamentosos que atuam como boas antenas de luz.

Com o término do período sazonal que favorece as florações de cianobactérias, há uma brusca diminuição da biomassa fitoplanctônica, juntamente com o maior enriquecimento do ecossistema, sugerindo que estes nutrientes poderiam estar estocados na própria biomassa fitoplanctônica.

A diminuição da biomassa veio a possibilitar uma maior penetração da luz na coluna d'água, de forma que a maior disponibilidade de recursos, tal qual luz e nutrientes, vieram a resultar numa maior riqueza de organismos, predominantemente pequenos e oportunistas de rápido crescimento.

As três abordagens utilizadas para o estudo da dinâmica do fitoplâncton na Lagoa de Marapendi (Classes Taxonômicas, Grupos Funcionais e Grupos Funcionais Baseados na Morfologia) foram igualmente satisfatórias para o entendimento do ecossistema.

A abordagem de Grupos Funcionais *sensu* Reynolds (2002) mostrou ser mais rica em detalhes ecológicos, na medida em que segregou as classes taxonômicas em grupamentos com diferentes estratégias adaptativas. Ao mesmo tempo, a abordagem dos Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (Kruk et al., 2010) mostrou ser um método de mais fácil utilização.

A abordagem de Grupos Funcionais Baseados na Morfologia para a Lagoa de Marapendi, um ambiente eutrófico, raso, mostrou ser mais adequada devido a sua simplicidade de utilização, aliada à boa capacidade de explicação da dinâmica fitoplanctônica. Assim, tal abordagem pode ser usada para prever mudanças nos parâmetros ambientais, bem como a composição e biomassa da comunidade fitoplanctônica, possibilitando o manejo de ecossistemas com características similares

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES DE SOUZA, C.; MENEZES, M.; HUSZAR, V. L. M. Phytoplankton composition and functional groups in a tropical humic coastal lagoon, Brazil. *Acta Botânica Brasileira***,** v. 3, n.20, p. 701-708, 2006.

APHA. American Publication Health Association. American Water Works Association and Water Pollution Control Federation. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater***.** 21th ed. Washington, 2005. 2668 p.

APPEL, E. N. A. Forças *reguladoras do biovolume total e dos grupos funcionais do fitoplâncton em rios tropicais (Sudeste do Brasil)*: fatores hidrológicos e usos do solo. 2010. 93 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.

ARNOLD, S. J. Morphology, performance and fitness. *Amer. Zool*, v. 23, p. 347-361. 1983.

AZEVEDO, L. S. P. Os macro-elementos nas lagoas do litoral fluminense: geoquímica e sedimentação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, 1984, Rio de Janeiro. *Anais*... Rio de Janeiro: 1984. p. 212-230.

AZEVEDO, S. M. F. O.; CARMOUZE, J. P. Une mortalité de poissons dans une lagune tropicale (Brésil) durant une période de dominance de Cyanophyceae. Coincidence ou conséquence?. *Ver. Hidrobiol. Trop.*, v. 3, n. 27, p. 265-272, 1994.

BARROSO, V. L.; MEDINA, R. S.; MOREIRA-TURQ, P. F.; BERNARDES, C. M. *Aspectos Ambientais e Atividades de Pesca em Lagoas Costeiras Fluminenses*. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Diretoria de Gestão Estratégica. Brasília: Ed. IBAMA, 2000. 50 p. (Série Meio Ambiente em Debates, 31).

BRANCO, C. W. C.; CAVALCANTI, C. G. B. A ecologia das Comunidades Planctônicas no Lago Paranoá. In: HENRY, R. *Ecologia de reservatórios*: estrutura, função e aspectos sociais. 2ª Ed. Botucatu: Ed FUNDIBIO: FAPESP, 1999. p. 573-595.

BRASIL, J. *Ecologia do fitoplâncton em reservatórios do semi-árido brasileiro*: da abordagem funcional da comunidade à variabilidade intra-específica. 2011. 140 p. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.

BREZONIK, P. L.; POLLMAN, C. D. Phosphorus chemistry and cyccling in Florida Lakes: global issues and local perspectives. *In*: REDDY, K. R.; O'CONNOR, G. A.;

SCHELSKE, C. L. (Eds.). *Phosphorus Biogeochemistry in subtropical ecosystems*. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, 1999, p. 69-110.

CALHEIROS, A. L. S. *Variação do nível relativo do mar nos últimos 7.000 anos a.p. na planície costeira de Jacarepaguá – Rio de Janeiro***.** 2006. 113p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.

CARACO, N; MILLER, R. Direct and indirect effects of CO2 on competition between a cyanobacteria and eukaryotic phytoplankton. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 55, p. 54-62, 1998.

CHORUS, I.; BARTRAM, J. *Toxic cyanobacteria in water***:** a guide to their public health consequences, monitoring and management. World Health Organization London: E & FN Spon, 1999. 416p.

CLOERN, J.E.; DUFFORD, R. Phytoplankton community ecology: Principles applied in San Francisco Bay. *Marine Ecology Progress,* v. 285 p. 11-28, 2005.

COHIDRO - Consultoria Estudos Projetos. *Estabilização da barra do canal de Sernambetiba e suas interligações com o complexo lagunar Jacarepaguá***.** Rio de janeiro: SEMADUR/SERLA. v. 1-13, 1079p. 2006. Estudo de impacto ambiental

COLE, G. A. *Textbook of Limnology*. Waveland Press Inc, Illinois. 2000.

CONLEY, D. J.; KAAS, H.; MOHLENBERG, F.; RASMUSSEN, B.;INDOLF, J. Characteristics of Danish estuaries. *Estuaries,* v. 23 p. 820-837, 2000. .

DANTAS, E. W. *Ecologia da comunidade de algas planctônicas em reservatórios de Pernambuco (Nordeste, Brasil)*. 2010. 143p. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

DOKULIL, M. T.; TEUBNER, K. Cyanobacterial dominance in lakes. *Hydrobiologia*, v. 438 p. 1–12, 2000.

DOMINGOS, P. *Dominância de cianobactérias produtoras de microcistinas na lagoa de Jacarepaguá (RJ)*. 2001. 108p. Tese (Doutorado em Biotecnologia Vegetal) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.

DOWNING, J. A.; WATSON, S. B.; MCCAULEY, E. Predicting cyanobacteria dominance in lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 58, p. 1905-1908, 2001.

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

ESTEVES, F. A. *Fundamentos de Limnologia*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 1998a. 464p.

ESTEVES, F. A. Lagoas Costeiras: origem, funcionamento e possibilidades de manejo. In: _____. *Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)*. Rio de Janeiro: UFRJ, Núcleo de Pesquisas Ecológicas de Macaé (NUPEM), 1998b p. 63-87.

ESTEVES, F. A. ; CALIMAN, A. ; SANTANGELO, J. M. ; GUARIENTO, R. D.; FARJALLA, V. F.; BOZELLI, R. L. Neotropical coastal lagoons: na appraisal of their biodiversity, functionings, threats and conservation management. *Brazilian Journal of Biology*, v. 68, n. 4, p. 967–981. 2008.

GALLEGOS, C.L.; P.W. BERGSTROM. Effects of a Prorocentrum minimum bloom on light availability for and potential impacts on submersed aquatic vegetation in upper Chesapeake Bay. *Harmful Algae,* v.4 p. 553-574, 2005.

GRAHAM, L. E.; WILCOX L. W. *Algae*, 1st ed. Prentice-Hall. 2000. 640p.

GRIME, J. P. *Plant strategies and vegetation processes*. New York: Wiley, 1979. 247p.

HAINES, A.; J. A. MCMICHAEL; EPSTEIN R. P. Environment and health: 2. Global climate and health. *Can. Med. Assoc. J*, v. 163, p. 729-734. 2000.

HAPPEY-WOOD, V. M. Ecology of freshwater planktonic green algae. In: SANDGREEN, C. D. (Ed.). *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. New York: Cambridge University Press. 1988 p. 175-226.

HEIL, C. A.; GLIBERT, P. M.; FAN, C. Prorocentrum minimum — (Pavillard) Schiller-A review of harmful algal bloom species of growing importance. *Harmful Algae* v. 4, n. 3, p. 449-470. 2005.

HILLEBRAND, H., DÜRSELEN, C.-D., KIRSCHTEL, D., POLLINGHER, U.; ZOHARY, T. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *J. Phycol.*, v. 35, p. 403–424. 1999.

HODGSON, J.G.E.A. Allocating C-S-R plant functional types: a soft approach to a hard problem. *Oikos*, v.85, p. 282-294. 1999.

HUSZAR, V. L. M.; CARACO, N. The relationship between phytoplankton composition and physical–chemical variables: a comparison between taxonomic and morphological–functional approaches in six temperate lakes. *Freshwater Biol.*, v. 40, p. 1-48. 1998.

HUSZAR, V. L. M.; SILVA, L. H. S. A estrutura da comunidade fitoplanctônica no Brasil: cinco décadas de estudos. *Limnotemas*. Sociedade Brasileira de Limnologia. v. 2, p. 1-21. 1999.

HUSZAR, V. L. M. et al. Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical Brazilian waters. *Hydrobiologia*, v. 424, p. 67-77. 2000.

IBANEZ, M. S. R. Phytoplankton composition and abundance of a central Amazonian floodplain lake. *Hydrobiologia*. v. 362, p. 79-83. 1998.

INEA. Notícias: Projeto de Recuperação Ambiental do Complexo Lagunar da Barra. Disponível em: inea.rj.gov.br/noticias. Acesso em: 30/01/2012.

KIRK J. T. O. *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

KJERFVE, B. *Coastal lagoons processes*. Amsterdan: Elsevier, 1994. p. 243-286

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. *Cyanoprokaryota I*: Teil Chroococcales. Verlag: Gustav Fisher, 1999.

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. *Cyanoprokaryota II*: Teil Oscillatoriales. Verlag: Spektrum Akademischer, 2005.

KRUK, C.; HUSZAR, V. L. M.; PEETERS, E. T. H. M.; BONILLA, S.; COSTA, L.; LÜRLING, M.; REYNOLDS, C.; SCHEFFER, M. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology*, v. 55 p. 614-627. 2010.

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,* v. 24 p. 901-912. 2002

KRUK, C.; PEETERS, E. T. H. M.; VAN NES, E. H.; HUSZAR, V. L. M.; COSTA, L. S.; SCHEFFER, M. Phytoplankton community composition can be predicted best in terms of morphological groups. *Limnology and Oceanography*, v. 56, n. 1, p.110-118. 2011.

LUND, J.W.; KIPLING, C.; LECREN, E.D. The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimation by count. *Hydrobiologia*, n. 11, p. 143-170. 1958.

MARGALEF, R. *Limnología*. Barcelona, Ed. Omega. 1983. 1010 p.

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

MARINHO, M. M.; HUSZAR, V. L. M. Nutrient availability and physical conditions as controlling factors of phytoplankton composition and biomass in a tropical reservoir (Southeastern Brazil). *Arch. Hydrobiol*. v. 153, n. 3, p. 443-468. 2002.

MARQUES, J. S. Estruturação do sistema ambiental da baixada de Jacarepaguá. *Geografia*, v. 9, n. 17-18, p. 197-194, 1984.

McCAULEY, E.; MURDOCH, W. W.;NISBET, R. M., Growth, Reproduction, and Mortality of Daphnia pulex Leydig: Life at Low Food, *Functional Ecology*, v. 4 n. 4 p. 505-514, 1990.

McCORMICK, P. V. Resource competition and species coexistence in freshwater benthic algal assemblages. In: STEVENSON, R. J.; BOTHWELL, M. L.; LOWE R. L. (eds.). *Algal ecology,* New York, NY: Academic Press, 1996. p. 229–252.

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

MIELEITNER J.; BORSUK, M.; BÜRGI, H. R.; REICHERT, P. Identifying functional groups of phytoplankton using data from three lakes of different trophic state. *Aquatic Sciences,* v. 70, p. 30-46. 2008.

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*. J. Plankton Res.,*v. 28, p. 181-193. 2006.

NASELLI-FLORES, L.; BARONE, R. Pluriannual morphological variability of phytoplankton in a highly productive mediterranean reservoir (Lake Arancio, Southwestern Sicily). *Hydrobiologia*, v. 578 p. 87-95. 2007.

OLIVEIRA, A. C. P. *Efeitos de fatores físicos, químicos e biológicos no processo de remoção de microcistinas*. 2003. 143 p. Tese (Doutorado em Biotecnologia Vegetal) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.

OLIVEIRA, A. C. P; SAMPAIO, G. F.; GÔMARA, G. A. Relato de hepatoxinas na Lagoa de Marapendi. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOTOXICOLOGIA, 9, 2006, São Pedro, *Resumos...* São Paulo. 2006.

PACHECO, J. P.; IGLESIAS, C.; MEERHOFF, M.; FOSALBA, C.; GOYENOLA, G.; MELLO, F. T.; GARCÍA, S.; GELÓS, M.; GARCÍA-RODRÍGUEZ, F. Phytoplankton community structure in five subtropical shallow lakes with different trophic status (Uruguay): a morphology-based approach. *Hydrobiologia*, v. 646, p. 187-197. 2010

PADISÀK, J.; CROSSETTI, L. O; NASELLI-FLORES, L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia*. v. 621, p. 1-19. 2009.

PAERL, H. W.; HUISMAN, J. Minireview climate change: A catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environ. Microbiol.* v. 1, p. 27–37. 2009.

PAERL, J. I. W. Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine and inland waters. *Limnol.Oceanogr*, v. 33, p. 823-847. 1988.

PIANKA, E.R. On r and K selection. *American Naturalist*, v. 104, p. 592-597. 1970

PIMENTA, L. C. *Contribuições para o entendimento e planejamento da ocupação urbana da baixada de Jacarepaguá – Rio de Janeiro/RJ*: uma aplicação da matriz P.E.I.R. 2009. 97p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, RJ.

PERES, A. C.; SENNA, P. A. C. Estudo quantitativo e estatístico do fitoplâncton da lagoa do Diogo em um ciclo hidrológico (1995-1996). *In*: SANTOS, J. E.; PIRES, J. S. R. (Eds.). Estação Ecológica de Jataí. São Carlos: RiMa, 2000. v. 2, p. 483-495.

REYNOLDS, C. S. Phytoplankton assemblages and their periodicity in stratifying lake systems. *Holarctic. Ecol*, v. 3, p. 141-159.1980.

REYNOLDS, C. S. *The Ecology of Freshwater Phytoplankton*. Cambridge: Cambridge University Press, 1984. 384 p.

REYNOLDS, C.S. The phytoplankton of an enriched, soft-water lake subject to intermittent hydraulic flushing (Grasmere, english Lake District). *Freshwater Biology*. v. 19, p. 379-404. 1988.

REYNOLDS, C. S. Vegetation Process in the Pelagic: a model for ecosystem theory. In: KINE, O. (ed.) *Excellence in ecology*. Oldendorf: ECI, 1997. p. 371.

REYNOLDS, C. S. Non-determinism to probability, or N:P in the community ecology of phytoplankton. *Archiv fu¨r Hydrobiologie*, v. 146, p. 23-35. 1999

REYNOLDS, C. S. The e*cology of phytoplankton*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. 564 p.

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*, v. 24, p. 417-428. 2002.

REYNOLDS, C.S.; WALSBY, A. E. Water blooms. *BioL Rev.* S0, 431-4Sl. 1975

RIO DE JANEIRO (RJ). SMMA – Secretária Municipal De Meio Ambiente. *Estudo de Impacto Ambiental para o Projeto de Recuperação Ambiental da Microbacia de Jacarepaguá*: Diagnóstico do meio físico. 1998. v. 2. 53p.

RODRIGUES, L.; BICUDO, D. C. Similarity among periphyton algal communities in a lentic-lotic gradient of the upper Paraná river floodplain, Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 24, p. 235-248. 2001.

SAIEG-FILHO, E. *Ecologia do Fitoplâncton Marginal das Lagunas da Baixada de Jacarepaguá, Rio de Janeiro - RJ*. 1986. 150 p. Monografia (Bacharelado em Biologia) - Instituto de Biologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, RJ.

SALMASO N.; PADISÀK J. Morpho-functional groups and phytoplankton development in two deep lakes (Lake Garda, Italy and Lake Stechlin, Germany). *Hydrobiologia*, v. 578, p. 97-112. 2007.

SAMPAIO, G. F. *Cianobactérias como parâmetro de qualidade ambiental*: um estudo do complexo lagunar de Jacarepaguá. 2008. 160 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, RJ.

SAS, H. *Lake restoration by reduction of nutrient loadings*: Expectations, experiences, extrapolations. Sankt Augustin: Academia Verlag Richarz Gmbb, 1989. 497 p.

SCHETTINI, C. A. F. Hidrologia do Saco da Fazenda, Itajaí, SC. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol*, v. 12, n. 1, p. 49-58. 2008.

SCHEFFER, M.; RINALDI, S.; HUISMAN, J.; WEISSING, F. J. Why plankton communities have no equilibrium: Solutions to the paradox. *Hydrobiologia*, v. 491, p. 9-18. 2003.

SELLNER, K. G.; SELLNER, S. G.; LACOUTURE, R. V.; MAGNIEN, R. E. Excessive nutrients select for dinoflagellates in the stratified Patapsco River estuary: Margalef reigns. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, v. 220, p. 93-102. 2001.

SEMERARO, J.; COSTA, A. F. O Plâncton e a Poluição nas Lagoas da Tijuca, Camorim e Jacaparepaguá. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, XII, 1972, Assunção. *Tema 4*. Paraguai. 1972. Publ. n. 3. 31p.

SHAPIRO, J. Currents beliefs regarding dominance by blue-greens: The case for the importance of CO2 and pH. *Verein. Limnol.*, v. 24, p. 38-54. 1990.

SILVA, G. *Processo de ocupação urbana da Barra da Tijuca (RJ)*: Problemas ambientais, conflitos sócio-ambientais, impactos ambientais urbanos. Publicação eletrônica disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~parc>. 2006.

SILVA, R. F. Dinâmica sazonal das variáveis limnológicas nas escalas espaciais horizontal e vertical no Complexo Lagunar de Jacarepaguá, Rio de Janeiro. 2009. 79p. Monografia (Ciências Biológicas) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

SILVA E SILVA. L. H.; HAYAKAWA, R. C. S.; IESPA, A. A. C.; IESPA, C. M. D.; DELFINO, D. O.; LOPES, F. A. S. Cianobactérias planctônicas da Lagoa Pitanguinha, RJ, Brasil. *Rev. Biociênc.*, Taubaté. v. 13, p. 63-70, jan./jun. 2007.

SMIL, V. Phosphorous in the Environment: Natural Flows and Human Interferences. *Annual Reviews of Energy and Environmente*. v. 25, p. 53-88. 2000.

SMITH, R. E. H.; KALFF, J. Competition for phosphorous among co- occurring freshwater phytoplankton. *Limnology and Oceanography*. v. 3, n. 28, p. 448-464. 1983.

SMOL, J. P. Pollution of lakes and rivers: a paleoenvironmental perspective. London, Great Britain: Ed. Arnold, 2002. p.150-188.

SOMMER, U.; GLIWICZ, Z. M.; LAMPERT, W.; DUNCAN, A. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Arch. Hydrobiol*. v. 106, p. 433-471. 1986.

SPAULDING, M. L. Modeling of circulation and dispersion in coastal lagoons. In: KJERFVE, B. (ed.). *Coastal Lagoon Processes*. Amsterdam: Elsevier Science, 1994. p. 103-132.

STOECKER, D. K.; LI, A.; COATS, D. W.; GUSTAFSON, D. E.; NANNEN, M. K. Mixotrophy in the dinoflagellate Prorocentrum minimum. *Marine Ecology Progress Series*. v. 152, p. 1-12. 1997.

SUGUIO, K.; TESSLER, M. G. Planícies de cordões litorâneos quartenários do Brasil: origem e nomenclatura. In: LACERDA, L. D.; ARAÚJO, D. S. D.; CERQUEIRA, R. *Restingas: origem, estrutura e processos*. Niterói, RJ: CEUFF, 1993. p. 15-26.

TANGO, P.J.; MAGNIEN, R.; BUTLER, W.; LUCKETT, C.; LUCKENBACH, M.; LACOUTURE, R.; POUKISH,C. Impacts and potential effects due to Prorocentrum minimum blooms in Chesapeake Bay. *Harmful Algae*. v. 4 p. 525-531. 2005.

TER BRAAK, C. J. F.; SMILAUER, P. *CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows User's guide*: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Ithaca, NY: Microcomputer Power, 2002. 352 p.

TILMAN, D. *Resource competition and community structure*. Princeton: Princeton University Press, 1982.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 632 p.

UHELINGER, V. Estude statistique des méthodes de dénobrement planctonique. *Archive des Science.* v. 17, n. 2, p. 121-123. 1964.

UTERMÖHL, H. Zur Vervolkomnung der quantitativen Phytoplankton-methodik. *Mitteilungen der Internationalen Vereinigung Für Limnologie*. v. 9, p. 1-38. 1958.

VAN DEN HOECK, D.; MANN, G.; JAHNS, H. M. *Algae*: An introduction of phycology. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1997.

WEITHOFF, G. The concepts of 'plant functional types' and 'functional diversity' in lake phytoplankton – a new understanding of phytoplankton ecology? *Freshwater Biology.* v. 48, p. 1669-1675. 2003.

WETZEL, R. G. *Limnologia*. 2ª ed. Lisboa: Ed. Fundação Calaste Guebenkion, 1993. 919 p.

WHITFIELD, J. All creatures great and small. *Nature*. v. 413, p. 342-344. 2001.