



**Universidade Federal do Oeste do Pará**  
**Pró-Reitora de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação Tecnológica**  
**Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas**  
**Programa de Pós-Graduação em Recursos Aquáticos Continentais Amazônicos**

**EFEITOS DA HIDRODINÂMICA SOBRE A COMUNIDADE  
FITOPLANCTÔNICA E GRUPOS FUNCIONAIS NO LAGO GRANDE  
DO CURUAI, PA**

**DILAILSON ARAUJO DE SOUZA**

**Santarém, Pará**  
**Junho de 2015**

**DILAILSON ARAUJO DE SOUZA**

**EFEITOS DA HIDRODINÂMICA SOBRE A COMUNIDADE  
FITOPLANCTÔNICA E GRUPOS FUNCIONAIS NO LAGO GRANDE  
DO CURUAI, PA**

**ORIENTADORA: PROF.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. ANA LUIZA BURLIGA MIRANDA**

**CO-ORIENTADOR: PROF.<sup>o</sup>. Dr SÉRGIO DE MELO**

Dissertação apresentada ao PPG-RACAM como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Recursos Aquáticos Continentais Amazônicos.

**Santarém, Pará  
Junho de 2015**

**“EFEITOS DA HIDRODINÂMICA SOBRE A COMUNIDADE  
FITOPLANCTÔNICA E GRUPOS FUNCIONAIS NO LAGO GRANDE  
DO CURUAI, PA”**

DILAÍLSON ARAÚJO DE SOUZA

Dissertação submetida à aprovação como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Recursos Aquáticos Continentais Amazônicos, pela banca examinadora formada pelos professores:

**Banca Examinadora:**



**Profa. Dra. Sheyla Regina Marques Couceiro**

Examinador Interno



**Profa. Dra. Andreia Cavalcante Pereira**

Examinador Externo ao Programa



**Profa. Dra. Davia Talgatti**

Examinador Externo ao Programa

**Santarém, Pará  
Junhode 2015**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA**

---

- S729e Souza, Dilailson Araujo de  
Efeitos da hidrodinâmica sobre a comunidade fitoplanctônica e grupos funcionais no Lago Grande do Curuai, PA./ Dilailson Araujo de Souza. – Santarém, 2019.  
56 p. : il.  
Inclui bibliografias.
- Orientadora: Ana Luiza Burliga Miranda  
Coorientador: Sérgio de Melo  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação Tecnológica, Programa de Pós-Graduação em Recursos Aquáticos Continentais Amazônicos.
1. Ciclo hidrológico. 2. Lago de várzea. 3. Região amazônica. I. Miranda, Ana Luiza Burliga, *orient.* II. Melo, Sérgio de, *coorient.* III. Título.

CDD: 23 ed. 577.7098115

## Sinótese

O presente estudo avaliou os efeitos das mudanças ambientais sobre a variação dos grupos funcionais e morfofuncionais da comunidade fitoplanctônica no lago Grande do Curuai, PA, em um ciclo hidrológico.

**Palavras chave:** ciclo hidrológico, lago de várzea, região amazônica; dinâmica temporal

Dedico esse trabalho ao meu filho, Davi Araujo e aos meus pais Daniel e Maria, que nunca mediram sacrifícios e esforços para que eu pudesse vencer cada etapa de estudo.

## Agradecimentos

Esta é uma das etapas mais complexa de um trabalho. Sendo sempre uma tarefa difícil, e ao mesmo tempo gratificante. Difícil, porque nem sempre conseguimos lembrar, de todos que de uma forma ou de outra participaram das etapas para conclusão desse curso, gratificante tendo em vista que agradecer as pessoas e as instituições que disponibilizaram de tempo com interesse e dedicação é para mim um misto de prazer e reconhecimento.

Por esta razão nesse momento de felicidade pela consolidação de mais uma batalha vencida, gostaria de manifestar os meus mais sinceros agradecimentos, primeiramente a Deus por estar presente constantemente em minha vida, guiando os meus passos.

À minha orientadora, e amiga Prof<sup>ª</sup>. Dra. Ana Luiza Burliga Miranda, pelos valorosos ensinamentos e fundamentalmente pelo grande apoio e incentivo na realização deste trabalho.

Aos meus co-orientadores, Prof<sup>º</sup>. Dr. Sérgio de Melo, Prof<sup>ª</sup>. Dra. Lucia Helena Sampaio da Silva e Nadson Ressye Simões por seus ensinamentos e fundamentais contribuições a este trabalho.

À Dra. Marie Paule Bonnet, pela confiança e credibilidade em nos conceder a oportunidade da realização deste estudo vinculado aos seus projetos.

Ao Prof. Dr. David da Motta Marques (IPH\_UFRGS), pelo apoio na realização das análises físicas e químicas no Lago Grande de Curuai. Aos professores e alunos do Laboratório de Ficologia do Museu Nacional – UFRJ, pela recepção e apoio na realização da consolidação dos dados biológicos deste trabalho. Ao PPGRACAM por ter nos proporcionado essa oportunidade. À CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro e concessão das bolsas de mestrado. Ao IRD pelo apoio financeiro as atividades de campo. Aos meus pais Daniel e Maria e meus irmãos Denise, Denilson, pelo grande apoio e ajuda nesta jornada, e pelos ensinamentos de vida e principalmente por estarem sempre ao meu lado em momentos difíceis. Ao meu filho Davi Araújo, por ter sido a minha inspiração e o meu motivo de sempre acreditar nas possibilidades de superação. As minhas amigas Gabriele Vidal, Daiane Rodrigues e ao amigo Joelson, pela amizade e ajuda durante toda a realização deste estudo.

Aos amigos que fiz no mestrado, Augusto Maia, Camila Araujo, Ivoneide Ferreira, Jamile Sampaio, Jean Louchar, João Carlos Lira, Juliana, Danilo, Raidel Reis, pelos momentos de descontração e também de solicitude.

Ao meu amigo e parceiro de estudo, Arlison Bezerra pelo fundamental apoio durante essa trajetória.

A Professora Dra. Andréia Cavalcante Pereira, pelas importantes contribuições neste trabalho.

A todos os professores do PPG RACAM, do Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, da Universidade Federal do Oeste do Pará, pelas suas imensas contribuições na minha formação.

Enfim a todos a aquele que de alguma forma me apoiaram.

Muito obrigado a todos!



Esperança é a energia essencial das caminhadas, e, ao final de cada novo dia, aprendizados, e uma certeza absoluta: vivo neste momento o melhor de minha vida. Sei que tenho aprendido, e com o aprendizado, a sabedoria tem se aninhado em mim!

José Reis Martins

## **EFEITOS DA HIDRODINÂMICA SOBRE A ESTRUTURA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA E GRUPOS FUNCIONAIS NO LAGO GRANDE DO CURUAI, PA**

**Resumo:** O presente estudo avaliou a estrutura da comunidade fitoplanctônica no Lago Grande de Curuai em diferentes fases de um ciclo hidrológico, utilizando diferentes abordagens: Classes Taxonômicas, Grupos funcionais (GFs) e Grupos Funcionais Baseados na morfologia (GBFM), no lago Grande de Curuai, PA, em um ciclo hidrológico. As coletas foram realizadas mensalmente no período de um ano, em três estações amostrais. O fitoplâncton foi quantificado pelo método sedimentação e o biovolume foi mensurado pelo método de formas geométricas específicas. Um total de 101 táxons registrados no Lago Grande de Curuai, distribuídos em oito grandes categorias taxonômicas: Chlorophyceae (31 taxa), Cyanobacteria (27 taxa), Bacillariophyceae (17 taxa), Coscinodiscophyceae (7 taxa), Zygnemaphyceae (7 taxa), Euglenophyceae (4 taxa), Dinophyceae (4 taxa), Cryptophyceae (3 taxa) e Synurophyceae (1 taxa). As 32 espécies descritoras (5% da biomassa total) em relação aos hidroperíodos, foram categorizadas em 14 Grupos Funcionais (K; H1; M; S1; L0; X2; Y; C; P; MP; A; W1; W2 e J) e membras de 5 Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFG): III, IV, V, VI e VII e 14 Gupos Funcionais. A Classificação GFBM é uma ferramenta útil na avaliação dos padrões ecológicos com robusta capacidade de expressar a dinâmica temporal da estrutura do fitoplâncton neste lago de varzea

**Palavras chave:** ciclo hidrológico, lago de várzea, região amazônica; dinâmica temporal

## **EFFECTS OF HYDRODYNAMIC IN THE PHYTOPLANKTON COMMUNITY STRUCTURE AND FUNCTIONAL GROUPS IN LAGO GRANDE DO CURUAI, PA.**

### **Abstract**

The present study evaluated the structure of the phytoplankton community in Lago Grande de Curuai in different phases of a hydrological cycle, using different approaches: Taxonomic Classes, Functional Groups (GFs) and Functional Groups Based on morphology (GBFM), in Grande de Curuai, PA, in a hydrological cycle. The collections were performed monthly in a period of one year, in three sampling stations. The phytoplankton was quantified by the sedimentation method and the biovolume was measured by the specific geometric form method. A total of 101 taxa registered in the Great Lake of Curuai, distributed in eight major taxonomic categories: Chlorophyceae (31 taxa), Cyanobacteria (27 taxa), Bacillariophyceae (17 taxa), Coscinodiscophyceae (7 taxa), Zygnemaphyceae (7 taxa), Euglenophyceae (4 taxa), Dinophyceae (4 taxa), Cryptophyceae (3 taxa) and Synurophyceae (1 taxa). The 32 descriptive species (5% of total biomass) in relation to hydroperiods were categorized into 14 Functional Groups (K; H1; M; S1; L0; X2; Y; C; P; MP; A; W1; W2 and J) and members of 5 Functional Groups Based on Morphology (MBFG): III, IV, V, VI and VII and 14 Functional Groups. The GFBM classification is a useful tool in the evaluation of ecological standards with robust ability to express the temporal dynamics of phytoplankton structure in this lake of *várzeas*.

**Key words:** phytoplankton; functional groups; hydrological cycle; temporal dynamics;

## Sumário

<b>1– INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. HIPOTESES</b> .....	<b>7</b>
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>8</b>
3.1 OBJETIVOS GERAL: .....	8
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>9</b>
4.1. ÁREA DE ESTUDO .....	9
4.2. AMOSTRAGEM DOS DADOS AMBIENTAIS .....	10
4.3. FITOPLANCTON .....	10
4.4. DEFINIÇÕES DOS HIDROPERIODOS NO LAGO GRANDE DO CURUAI .....	11
4.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS .....	12
<b>5. RESULTADOS</b> .....	<b>14</b>
5.1. ASPECTOS HIDROLÓGICOS E LIMNOLÓGICOS .....	14
5.2. ESTRUTURA TAXONOMICA E FUNCIONAL DO FITOPLANCTON NO LAGO GARNDE DO CURUAI .....	18
5.3. RESULTADOS ESTATISTICOS .....	22
<b>6. DISCUSSÃO</b> .....	<b>29</b>
<b>7. CONCLUSÕES</b> .....	<b>34</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>35</b>
<b>9. APÊNDICE: PRANCHA/ORGANISMOS FITOPLANCTÔNICOS</b> .....	<b>44</b>

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	Pag
<b>Figura 1.</b> Localização do sistema de várzea de Curuai e do lago Grande de Curuai com as unidades amostrais.....	9
<b>Figura 2.</b> Valores médios mensais do nível de água no lago Grande de Curuai, indicando quatro períodos hidrológicos da região.....	14
<b>Figura 3.</b> Biovolume Relativo (%) dos principais Classes Taxonômicas do Fitoplanton no Lago Grande de Curuai durante o ano hidrológico. ....	19
<b>Figura 4.</b> Biovolume Relativo (%) dos principais Grupos Funcionais (GFs) do Fitoplanton no Lago Grande de Curuai durante o ano hidrológico.....	20
<b>Figura 5.</b> Biovolume Relativo (%) dos principais Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (GFs) do Fitoplanton no Lago Grande de Curuai durante o ano hidrológico.....	20
<b>Figura 6.</b> Primeiro e segundo eixos da Análise de Redundância (RDA) baseados no biovolume das Classes Taxonomicas (CT) do fitoplancton e dados ambientais no ciclo hidrológico do lago Grande de Curuai.....	26
<b>Figura 7.</b> Primeiro e segundo eixos da Análise de Redundância (RDA) baseados no biovolume dos Grupos Funcionais (GFs) do fitoplancton e dados ambientais no ciclo hidrológico do lago Grande de Curuai.....	27
<b>Figura 8.</b> Primeiro e segundo eixos da Análise de Redundância (RDA) baseados no biovolume dos Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (GFBM) do fitoplancton e dados ambientais no ciclo hidrológico do lago Grande de Curuai.....	28

## LISTA DE FIGURAS

Pag

<b>Tabela 1</b> - Resumo dos dados ambientais: precipitação (PLU), temperatura da água (TEM), turbidez (Turb), zona eufótica (Zeu), condutividade elétrica (Cond), pH, oxigênio dissolvido (OD), carbono orgânico dissolvido (COD), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico total (COT), fósforo total (PT), fósforo reactivo solúvel (SRP), nitrato (NO <sub>3</sub> ), nitrito (NO <sub>2</sub> ), amônio (NH <sub>4</sub> ), Nitrogênio total dissolvido (NTD), Nitrogênio total (NT). Média (ME) e desvio padrão (DP) foram fornecidos.....	16
<b>Tabela 2.</b> Principais espécies do fitoplâncton (contribuição > 5% para o biovolume total por amostra), em seus grupos: taxonômicos, Funcionais (GFs) e Funcionais baseados na Morfologia (GFBM) no lago Grande de Curuai (CYA = <i>Cyanobacteria</i> ; DIN = <i>Dinophyceae</i> ; CRY = <i>Cryptophyceae</i> ; COS = <i>Coscinodiscophyceae</i> ; BAC = <i>Bacillariophyceae</i> ; EUG = <i>Euglenophyceae</i> ; CHL = <i>Chlorophyceae</i> .....	21
<b>Tabela 3.</b> Resultados do teste PERMANOVA das variáveis limnológicas em relação estrutura das Classes taxonômicas. F = estatística do teste; p = valor significativo do teste ( $\leq 0,05$ significativo); R2 = variação proporcional atribuída ao tratamento. PREC = precipitação, Tem = temperatura da água, Turb = turbidez, Zeu = zona eufótica, Cond = condutividade elétrica, OD = oxigênio dissolvido, COD = carbono orgânico dissolvido, COP = carbono orgânico particulado. COT = carbono orgânico total, PT = fósforo total, SRP = Fósforo reativo solúvel, NO <sub>3</sub> = nitrato, NO <sub>2</sub> = nitrito, NH <sub>4</sub> = amônio, NTD = nitrogênio total dissolvido, NTD = nitrogênio total (NT). .....	23
<b>Tabela 4.</b> Resultados do teste PERMANOVA das variáveis limnológicas em relação a estrutura dos Grupos Funcionais (GFs). F = estatística do teste; p = valor significativo do teste ( $\leq 0,05$ significativo); R2 = variação proporcional atribuída ao tratamento. PREC = precipitação, Tem = temperatura da água, Turb = turbidez, Zeu = zona eufótica, Cond = condutividade elétrica, OD = oxigênio dissolvido, COD = carbono orgânico dissolvido, COP = carbono orgânico particulado. COT = carbono orgânico total, PT = fósforo total, SRP = Fósforo reativo solúvel, NO <sub>3</sub> = nitrato, NO <sub>2</sub> = nitrito, NH <sub>4</sub> = amônio, NTD = nitrogênio total dissolvido, NTD = nitrogênio total (NT). .....	24
<b>Tabela 5.</b> Resultados do teste PERMANOVA das variáveis limnológicas em relação estrutura dos Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (GFBM). F = estatística do teste; p = valor significativo do teste ( $\leq 0,05$ significativo); R2 = variação proporcional atribuída ao tratamento. PREC = precipitação, Tem = temperatura da água, Turb = turbidez, Zeu = zona eufótica, Cond = condutividade elétrica, OD = oxigênio dissolvido, COD = carbono orgânico dissolvido, COP = carbono orgânico particulado. COT = carbono orgânico total, PT = fósforo total, SRP = Fósforo reativo solúvel, NO <sub>3</sub> = nitrato, NO <sub>2</sub> = nitrito, NH <sub>4</sub> = amônio, NTD = nitrogênio total dissolvido, NTD = nitrogênio total (NT).....	20

## 1– INTRODUÇÃO

Os ecossistemas de águas continentais brasileiros são predominantemente fluviais, com um menor número expressivo de ecossistemas lacustres. Notadamente esses ecossistemas compõem em frande volume a bacia hidrográfica amazônica (Esteves, 2011). Lagos possui como características o armazenamento e circulação de matéria orgânica e de substâncias inorgânicas dissolvidas em ciclos internos, onde eventualmente, depositam estas substâncias nos sedimentos. Estes sistemas são caracterizados principalmente por estratificação térmica e (ou) química (Junk e Wantzen, 2003). Rios e igarapés são sistemas unidirecionais, abertos, e que transportam água e matéria dissolvida e suspensa dos continentes para o mar ou para as bacias endorréicas (bacias que não possuem saídas superficialmente para o mar ou rios) (Junk e Wantzen, 2003). Esse transporte inclui a deposição intermediária e ressuspensão de sedimentos no leito do rio ou na várzea conectada, onde a produção e degradação da matéria orgânica também ocorrem (Junk e Wantzen, 2003).

A bacia amazônica é considerada o maior sistema fluvial do mundo, com cerca de 6.000.000 km<sup>2</sup> de extensão, constituindo cerca de 5% da superfície da Terra (Sioli, 1989:). O trecho médio e inferior do rio Amazonas e seus afluentes estão associados às águas brancas e formam um sistema de planícies inundável chamado de 'várzeas' no Brasil (Sioli, 1989; Junk *et al.*, 2012). Esses ambientes são considerados sistemas importantes para o funcionamento do clima global, constituindo-se tanto numa fonte como num sumidouro de carbono (Cordeiro *et al.*, 2008; Junk *et al.*, 2015)

O sistema de várzea da Amazônia forma um sistema estrutural e funcional complexo (Junk *et al.*, 2015). Nesses sistemas, o regime hidrológico sazonal, conhecido como pulso de inundação (Junk 1989; 2011; Junk e Wantzen, 2003), é a principal força que estrutura tanto os processos físicos e químicos, quanto os biológicos (Maurice-Bourgoin *et al.*, 2007; Simões *et al.*, 2013; Moreira-Turcq *et al.*, 2004; 2013).

Ao longo do pulso de inundação, é possível distinguir quatro fases: enchente, águas altas, vazante e águas baixas (Junk *et al.*, 1989). Na 'potamofase' (período de enchente à águas altas) há ocorrência de fluxos horizontais na direção do curso do rio até a planície de inundação, influenciando a distribuição de sedimentos, minerais e organismos (Junk *et al.*, 1989; Neiff, 1990, 2003). Na limnofase, os ambientes permanecem mais isolados, com baixa ou mesmo sem conectividade com o canal principal do rio (Neiff, 1990; 2003; Bonnet *et al.*, 2007; 2008).

Em vários trabalhos existe a indicação, que de aporte e ou fluxo de nutrientes nos sistemas de várzea é conduzido pelo pulso hidrológico, (Junk *et al.*, 2011; Junk e Wantzen, 2003; Bonnet *et al.*, 2008) sendo que nestes sistemas, as concentrações de nitrogênio e fósforo total estão relacionadas com as características geoquímicas do rio e a bacia de drenagem local (Forsberg *et al.*, 1988; Junk e Wantzen, 2003). Portanto o cenário de variabilidade das condições ambientais na várzea está ligada a mudanças cíclicas no nível da água (Junk *et al.*, 1989), que por exemplo nas águas altas há um efeito de diluição que diminui as concentrações de nutrientes e altera a biota aquática, já durante as águas baixas, conforme o nível da água recua dentro dos sistemas, os nutrientes e a biota aquática se tornam mais concentrados (Bozelli *et al.*, 2015).

A disponibilidade de nutrientes nos sistemas aquáticos como: Nitrogenio, fósforo e compostos de carbono desempenham um papel essencial no crescimento do fitoplâncton (Reynolds, 2002; Kruk *et al.*, 2010). No entanto, a maneira como os nutrientes e o fitoplâncton interagem e como essa relação varia durante o ano hidrológico em ecossistemas tropicais de água doce ainda não é muito clara . Desta forma, estudar processos de interação entre as comunidades naturais com fatores abióticos numa perspectiva de entendimento da sobrevivência e competição, (Ryabov *et al.*, 2010) pode ilustrar aspectos distintos de como as comunidades respondem às mudanças ambientais que nem sempre são aparentes em análises baseadas em espécies (Naeem e Wright, 2003).

O fitoplâncton é caracterizado por uma grande variedade de microalgas, que consiste nos produtores primários, responsáveis pela base da cadeia alimentar nos sistemas aquáticos (Reynolds, 2006). As “algas” constituem um conjunto muito heterogêneo de organismos que estão distribuídos em grupos taxonômicos distintos, às vezes sem laços de parentesco entre si. A ausência de laços evolutivos entre várias linhagens se traduz por um leque muito amplo de metabolismos, tipos de reprodução, habitats e empregos que possam apresentar (Reviere, 2006).

A predominância de determinados grupos de algas em um ecossistema é dependente de fatores ambientais como luminosidade, temperatura, nutrientes, oxigênio dissolvido, além de interações biológicas. Esses fatores influenciam na abundância, e na distribuição espacial e temporal das espécies, de modo que a produtividade primária está intimamente ligada à biodiversidade e o funcionamento dos ecossistemas aquáticos (Reynolds *et al.*, 2002).

A maior parte dos estudos sobre algas na região amazônica abordam aspectos taxonômicos, existindo poucos estudos que discutem a dinâmica e estrutura das comunidades

de algas em ecossistemas na região, como por exemplo, Huszar (1996) e Huszar e Reynolds (1997).

A análise das comunidades biológicas baseada essencialmente na descrição das espécies que as compõem tem sido criticada por não expressar com clareza as respostas dessas comunidades às variações das condições ambientais (Grime, 1979). Porém, mesmo que a grande maioria dos estudos sobre algas centralize suas discussões em aspectos taxonômicos, o atual conhecimento sobre a biodiversidade de algas continentais na região amazônica ainda é incipiente, assim como trabalhos sobre sua ecologia.

Na tentativa de detectar padrões que melhor explicam a dinâmica fitoplanctônica e as variáveis ambientais em ecossistemas lenticos foram desenvolvidos estudos utilizando a abordagem de grupos funcionais. Grupos funcionais são definidos como grupos de espécies, frequentemente polifiléticos, que respondem a um determinado conjunto de condições ambientais, possuindo características adaptativas para sobrevivência e dominância em um dado ambiente (Reynolds *et al.*, 2002).

A vantagem da utilização desta abordagem é a de poder fazer comparações entre diferentes grupos funcionais específicos, sem a necessidade de avaliar individualmente cada espécie da comunidade, sobrepondo problemas relacionados a resolução taxonômica aplicada (Salmaso e Padisák, 2007).

A partir dos trabalhos de Reynolds *et al.*, (2002) e Padisák *et al.*, (2009) ocorreram avanços importantes na detecção de padrões de grupos funcionais em relação às características ambientais. O sistema de classificação foi relacionado à suscetibilidade das algas ao distúrbio, estresse e utilização de recursos e definidos por vários atributos fisiológicos, morfológicos (tamanho e forma) e ecológicos (estratégias da história de vida) das espécies mais importantes.

Estudos mais recentes realizados por Kruk *et al.*, (2010) e Kruk e Segura (2012), apresentam uma nova classificação baseada na morfologia (GFBM). Esta classificação se baseia em características morfológicas, pelo fato destas sintetizarem a maior parte da variabilidade funcional do fitoplâncton. Nessa abordagem foram propostos sete grupos, baseados principalmente no biovolume, máxima dimensão linear, área superficial, presença de mucilagem, de flagelos, de aerótopos, heterócitos e de sílica.

Grupos de espécies fitoplanctônicas em especial, apresentam estratégias adaptativas morfológicas e fisiológicas para sobrevivência em diversos ambientes, devido à diversidade fenotípica, tempo curto de geração e resposta rápida à variabilidade ambiental (Reynolds *et*



*al.*, 2002; Kruk *et al.*, 2010). A classificação do fitoplâncton em grupos funcionais baseada na morfologia (GFBM) proposta por (Kruk *et al.*, 2010), utiliza características morfológicas, como biovolume, máxima dimensão linear, área superficial, presença de mucilagem, flagelos, aerótopos, heterócitos e sílica. A associação funcional de espécies do fitoplancton com base na morfologia expressa à fisiologia da espécie (Reynolds, 2006). Diferentes espécies do fitoplâncton apresentam estratégias distintas de sobrevivência, sendo fortemente relacionada com as dimensões e formas geométricas (Salmaso e Padisák, 2007). Os grupos GFBM podem prever padrões estruturais e de distribuição da comunidade fitoplanctônica, a partir das mudanças ambientais, levando-se em consideração o tipo de ambiente e seu estado trófico (Kruk *et al.*, 2010; Kruk e Segura, 2012).

No Brasil, estudos com a abordagem dos grupos funcionais do fitoplâncton já foram realizados em diferentes ambientes, principalmente em reservatórios da região Sudeste e Sul (Becker *et al.*, 2008, 2009a 2009b; Gemelgo *et al.*, 2009; Rangel *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2005). Fatores direcionadores da distribuição nictemeral de grupos funcionais fitoplanctônicos são apresentados nos trabalhos de Crossetti e Bicudo (2005; 2008a; 2008b) para o estado de São Paulo no lago Monte Alegre; Fonseca e Bicudo (2008); Huszar *et al.*, (2000) e Lopes *et al.*, (2005) no Lago das Garças (SP). Na região nordeste destacam-se os trabalhos de Barbosa (2009), Bouvy *et al.*, (2003) e Moura *et al.*, (2007).

Os estudos com abordagens sobre grupos funcionais em sistemas naturais têm sido desenvolvidos em menor número, dentre os quais se destacam os realizados por Costa *et al.*, (2009), no estuário do rio Paraíba do Sul (RJ); Alves-de-Souza *et al.*, (2006), que realizou estudo sobre a composição e os grupos funcionais do fitoplâncton da lagoa Comprida (RJ); Huszar *et al.*, (2000) na lagoa Barra (RJ); Melo e Huszar, (2000) no lago Batata (AM); Souza *et al.*, (2008) no lago Dom Helvécio (MG); Bovo-Scomparin e Train, (2008) na Lagoa Ventura (MS); Soares *et al.*, (2007) no rio Paraibuna (MG); Nabout e Nogueira (2007) no rio Pomba (MG), e lago Tigres (GO); Nabout *et al.*, (2006), em lagoas de inundação do rio Araguaia (GO/MT), e Nabout *et al.*, (2009) em lagoas de inundação do rio Araguaia (GO/MT).

Dentre os estudos com abordagens de grupos funcionais na região amazônica, destacamos os trabalhos de Almeida e Melo (2011), que avaliaram a estrutura da comunidade fitoplanctônica no lago Catalão; Alves (2011), que estudaram a dinâmica do fitoplâncton na várzea do lago Grande de Curuai, e Miranda (2013), que estudou os efeitos do ciclo hidrológico no lago Janauacá, sobre influência do rio Solimões (AM). Estes estudos discutem

a estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica e suas variações nos gradientes ambientais, tendo como característica principal a dinâmica hidrológica.

Existem alguns estudos sobre a dinâmica hidrológica da várzea do lago Grande, como os estudos de Bonnet *et al.* (2005; 2007 e 2008), onde foram mensuradas a área de inundação do rio, precipitação, escoamento superficial e intercâmbio com as águas subterrâneas. Nestes estudos, foram caracterizadas duas etapas, a de “armazenamento da água” na várzea, que inicia entre os meses de novembro e janeiro e perdura até os meses de maio e junho, e a fase de “drenagem ou vazante”, que inicia em julho e se estende até o mês de novembro, onde o maior volume exportado ocorre entre agosto e outubro. Os resultados demonstraram que o rio Amazonas dominou as entradas de água para a área inundada da várzea do Curuai durante todo o ano do estudo, representando entre 77 - 90% das entradas totais anuais, sendo que a precipitação e o escoamento superficial representaram cerca de 9% e 10%, respectivamente, e o escoamento do sistema de águas subterrâneas foi responsável por 4%. O tempo de residência da água do rio dentro da planície de inundação varia de três a cinco meses. O volume de água exportado (saldo líquido entre as entradas e as perdas de água) varia entre 4,2 e 7,3 km<sup>3</sup>, dependendo do ano, e representa cerca de 0,75 vezes o armazenamento máximo alcançado a cada ano.

Estudos também classificam o sistema da várzea do Curuai e do lago Grande quanto a quantidade de nutrientes, classificando-o como oligotrófico (no período de águas altas) a hipereutrófico (durante o período de vazante), sendo que neste último, os níveis de oxigênio dissolvido e clorofila *a* são impróprios para o abastecimento humano (Afonso *et al.*, 2011).

Apenas dois estudos foram realizados na várzea do lago Grande de Curuai sobre a comunidade fitoplanctônica. O primeiro foi realizado por Nogueira *et al.*, (2010), onde foram analisados os processos ambientais e espaciais que caracterizaram a estrutura fitoplanctônica. Neste estudo foram registradas 156 espécies fitoplanctônicas, tendo sido constatadas diferenças na diversidade entre momentos hidrológicos distintos, onde a alta biomassa fitoplanctônica foi favorecida pelas altas temperaturas no período de águas baixas ou limnofase. O segundo estudo, realizado por Alves (2011), demonstrou também que a estrutura das comunidades foi distinta entre os períodos hidrológicos, onde evidenciou maiores valores de riqueza, densidade e biovolume fitoplanctônico na limnofase ou águas baixas, com predomínio de *Dolichospermum circinalis* e na potamofase (águas altas), o predomínio de *Cryptomonas brasiliensis*.

Dos estudos apresentados, observa-se que a várzea do Curuai se apresenta como um ecossistema aquático importante a ser estudados mais detalhadamente. Em relação às algas fitoplanctônicas, seu estudo qualitativo e quantitativo, pois podem vir a fornecer informações fundamentais para o entendimento do funcionamento destes sistemas aquáticos, além de fornecer subsídios para um melhor planejamento e gerenciamento destes ambientes, importantes para a região.

## 2. HIPOTESES

H1- Os fatores ambientais, como disponibilidade de luz e concentração de nutrientes, terão variabilidade temporal associada ao pulso hidrológico e serão os componentes mais importantes na estruturação funcional do fitoplâncton ao longo do ciclo hidrológico anual no Lago Grande de Curuai

H2 – As abordagens dos Grupos Funcionais (GFs) proposta por Reynolds (2002) e de Grupos Funcionais baseados na morfologia do fitoplâncton (GFBM) deverão apresentar capacidade de caracterizar a dinâmica da comunidade fitoplanctônica em um lago de várzea, (Lago Grande de Curuai – PA), pois traços funcionais do fitoplâncton refletem a heterogeneidade ambiental, que neste sistema é conduzida pela condição hidrológica anual com influência do pulso de inundação.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVOS GERAL:

Avaliar a estrutura da comunidade fitoplanctônica no Lago Grande de Curuai em diferentes fases de um ciclo hidrológico, utilizando diferentes abordagens de grupos funcionais do fitoplâncton (GFs e GBFM), com vistas na influência da variabilidade ambiental sobre a composição e estrutura funcional do fitoplancton nesse lago de várzea amazônica.

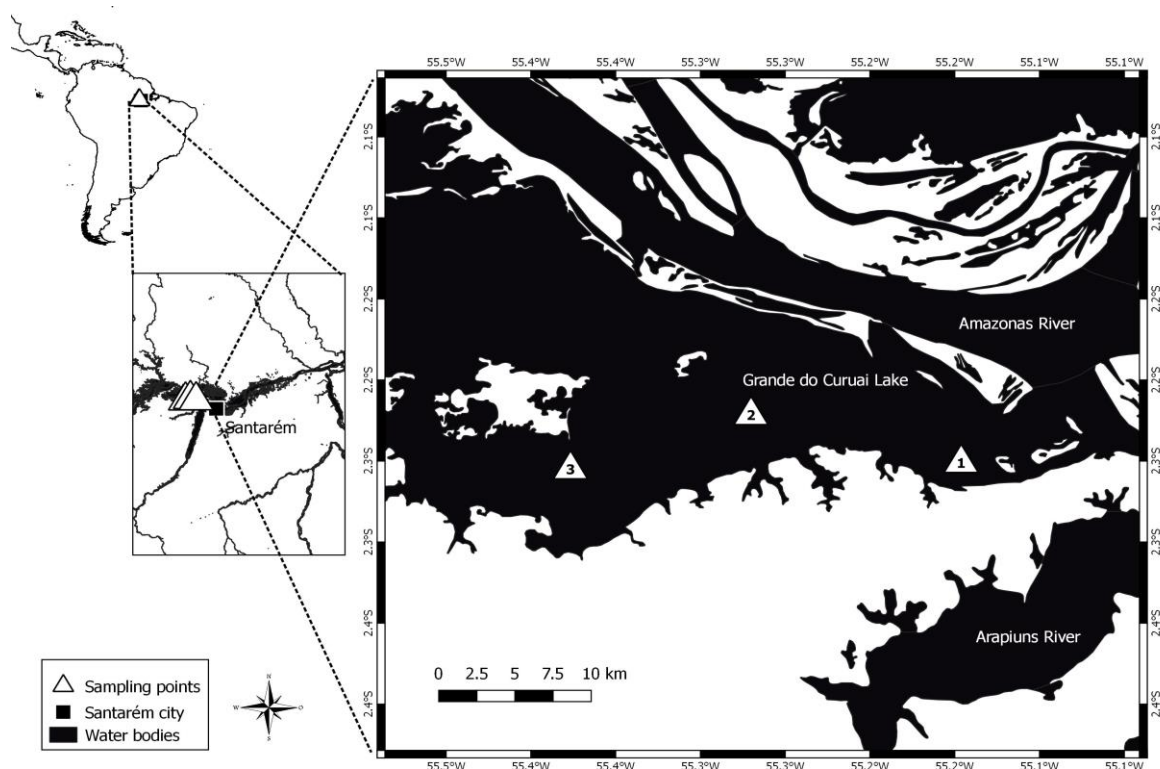
#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1- Identificar os principais fatores ambientais que influenciam a comunidade fitoplanctônica durante o período de amostragem;
- 2- Caracterizar a estrutura fitoplanctônica em um lago de várzea amazônica em diferentes fases do ciclo hidrológico;
- 3- Avaliar a relação entre fatores ambientais e a composição e variação de GFs e MBFGs ao longo do ciclo hidrológico anual em um lago de várzea da Amazônia
- 4- Avaliar as abordagens de GFs e GBFM do fitoplâncton são ferramentas adequadas para investigar mudanças ambientais decorrentes do pulso de inundação em um lago tropical de várzea

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no Lago Grande de Curuai, localizado no interior da várzea de Curuai, um complexo sistema composto por mais de 30 lagoas temporal ou permanentemente conectadas ao leito do rio Amazonas por pequenos canais (Maurice-Bourgoin *et al.*, 2007). A planície de inundação de Curuai está localizada a 850 km a montante do Oceano Atlântico, na margem sul do curso inferior do rio Amazonas, próximo à cidade de Óbidos, Pará, Brasil ( $1^{\circ} 54.08'S$ ,  $55^{\circ} 31.116'W$ ) (Moreira-Turcq *et al.*, 2004; Bonnet *et al.*, 2008). O lago Grande de Curuai é o maior lago desta planície de inundação, com ca. 359 km<sup>2</sup>. É um lago de 'água branca', localizado entre  $56^{\circ} 00'W$  (a montante) e  $55^{\circ} 03'W$  (a jusante) e  $2^{\circ} 17'S$  e  $1^{\circ} 55'S$  (Moreira-Turcq *et al.*, 2004; Bonnet e cols. (2008) (Fig. 1) O clima é tropical úmido (Af) (Köppen e Geiger, 1928).



**Figura 1.** Localização do sistema de várzea de Curuai e do lago Grande de Curuai com as unidades amostrais.

#### 4.2. AMOSTRAGEM DOS DADOS AMBIENTAIS

As amostragens foram realizadas em intervalos mensais durante o ano hidrológico (agosto de 2013 a julho de 2014) em águas superficiais em três locais de amostragem para análise biológica e abiótica (Fig.1).

Nos pontos de amostragem, registramos condutividade elétrica (Cond), temperatura da água (WT), oxigênio dissolvido (OD) e pH usando uma sonda multiparâmetro (YSI 6820-V2). A turbidez (Turb) foi estimada por absorvância em um espectrofotômetro (Varian Cary 1-E), considerando uma relação entre os compostos de baixo e alto peso molecular. A transparência da água foi medida pelo disco Secchi. O limite da zona eufótica (Zeu) foi calculado pela multiplicação de 2,7 pela profundidade de Secchi (Cole, 1994). As amostras foram analisadas para fósforo solúvel reativo (PPR) e fósforo total (TP) (Mackereth, Heron e Talling, 1978). Para analisar o nitrogênio total dissolvido (DIN), utilizou-se amônio (NH<sub>4</sub>), nitrato (NO<sub>3</sub>), nitrito (NO<sub>2</sub>) e nitrogênio total (TN), infravermelho não dispersivo (NDIR). Para medir o carbono orgânico total (TOC), carbono orgânico dissolvido (DOC) e carbono orgânico particulado (POC), seguimos os procedimentos dos Métodos Padrão para Água e Esgoto (Yamaguchi *et al.*, 2016).

#### 4.3. FITOPLANCTON

Como forma de subsidio para as análises do fitoplâncton foram coletadas amostras qualitativas de fitoplâncton com rede de plâncton com abertura de malha de 20µm, através de arrastos na sub-superfície do lago e após, foram fixadas com solução de formalina 4% (Bicudo e Menezes, 2006). A identificação taxonômica do fitoplâncton foi realizada no Laboratório de Biologia do Instituto de Ciências e Tecnologia das águas da UFOPA, Campus Tapajós, sendo utilizado microscópio binocular ZEISS AXIO®GmbH 37081, equipado com sistema de captura de imagem, câmera da marca ZEISS® AXIO CAM ERC 51.

Para classificar a comunidade fitoplanctônica adotamos: Komárek e Anagnostidis (1983; 1998; 2005; 2008 e 2013) para Cyanobacteria; Round (1971) para as classes de Chlorophyta, Round *et al.*, (1990) para as Bacillariophyceae, Fragilariophyceae e Coscinodiscophyceae e Van Den Hoek *et al.*, (1995) para as demais classes. Para

identificação das espécies do fitoplâncton Baseou-se na literatura especializada como: Komarek Fott (1983); Komarek e Agnostidis (1998), Komarek e Agnostidis (2005), Komárek e Anagnostidis (2008); Sant'Anna *et al.*, (2012); Komárek (2013), Buchheim *et al.*, (2005), entre outros.

As amostras para quantificação do fitoplâncton foram coletadas com garrafa de Van Dorn (2 L) e fixadas com solução neutra de Lugol. A quantificação do fitoplâncton foi realizada em microscópio invertido Zeiss - Axiovert 125 (Utermöhl, 1958) com aumento de 400x. As unidades (células, colônias e filamentos) foram enumeradas em campos aleatórios (Uhelinger, 1964), e pelo menos 100 indivíduos das espécies mais freqüentes foram contados ( $p < 0,05$ ) (Lund *et al.*, 1958). O método de contagem foi feito por campos distribuídos aleatoriamente (Uhelinger, 1964) utilizando o método de sedimentação de Utermöhl (1958). A suficiência de contagem de organismos (cenóbios, filamentos e células) ocorreu ao enumerar pelo menos 100 indivíduos dos taxa mais freqüentes ( $p < 0,05$ ) (Lund, *et al.*, 1958). O tempo de sedimentação das amostras nas câmaras de contagem seguiu as recomendações de Lund *et al.*, (1958).

O biovolume foi estimado usando formas geométricas, multiplicando a densidade de cada espécie pelo seu volume celular médio, considerando o tamanho médio de 20-30 amostras individuais de cada espécie (Hillebrand, *et al.*, 1999), e expressas como  $\text{mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$ .

Espécies fitoplanctônicas foram classificadas em Grupos Funcionais (GFs) de acordo com Reynolds (Reynolds *et al.*, 2002; Padisák *et al.*, 2009) Baseados na Morfologia (MBFGs), de acordo com Kruk (Kruk *et al.*, 2010). A biomassa específica de MBFGs foi estimada a partir do produto de densidades populacionais e volume unitário médio e foi considerada apenas espécies que contribuíram com pelo menos 5% do biovolume total por unidade de amostra (Kruk, *et al.*, 2002).

#### 4.4. DEFINIÇÕES DOS HIDROPERÍODOS NO LAGO GRANDE DO CURUAI

Apesar de sua importância, a delimitação dos hidroperíodos da várzea amazônica é majoritariamente arbitrária, devido às dificuldades de comparação entre estudos de diferentes anos (Bittencourt e Amadio, 2007). Na tentativa de estabelecer um método padrão para classificação dos hidroperíodos durante o ano hidrológico, utilizamos o banco de dados do nível de água da estação hidrológica de Curuai ( $2^\circ 16'21.00''\text{S}$ ,  $W55^\circ 28'50.88''$ ) localizado



na Planície de Inundação *Várzea* Curuai (posto 17060000, da Agência Nacional de Águas (ANA) de janeiro de 1983 a dezembro de 2014, totalizando 31 anos de múltiplas medidas.

Adaptamos de Bittencourt e Amadio (2007), o procedimento estatístico descritivo para identificar as estações hidrológicas (vazante, águas baixas, enchente e águas baixas), onde os períodos hidrológicos foram categorizados a partir da identificação do as menores valores de cota e maiores cotas registradas para cada um dos 31 anos. Na delimitação do período de águas altas, usamos o valor médio menos o desvio padrão das cotas máximas de cada ano. O período de águas baixas foi determinado pelo uso dos valores médio mais o desvio padrão das cotas mínimas anuais. O período de vazante foi definido pela redução dos valores das cotas, do limite máximo para o limite mínimo, e o período de enchente foi categorizado com o aumento dos valores médios das cotações mensais, a partir do limite mínimo para o valor de limite máximo estabelecido.

#### 4.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Para a comparação dos dados de precipitação, temperatura da água, condutividade elétrica, turbidez, zona eufótica, pH, nitrito, amônia, nitrogênio total, fósforo total em relação aos hidroperíodos, aumento, água alta, rubor e baixa água, utilizou-se ANOVA ( em um sentido) e quando os dados prejudicam a normalidade e a homogeneidade dos pressupostos de variância, o teste não-paramétrico de Kruskal Wallis (Zar, 2010) foi utilizado.

Antes das análises estatísticas multivariadas, os dados de comunidade (Biovolume) foram transformados em uma matriz de distancia de dissimilaridade de Bray-Curtis, sendo uma das distancias mais utilizada em matrizes de dados biológicos quantitativos (Borcard e Legendre, 2011). O conjunto de dados Limnológicos foi submetido à padronização, pela função “*decostand*” do pacote “*vegan*” (Oksanen *et al.*, 2013). Os dados de (Classes taxonômicas, GFBM e GFs) foram submetidos a uma análise de variância multivariada permutacional (PERM-ANOVA) usando matrizes de distância com a função “*adonis*” do pacote “*vegan*” (Oksanen *et al.*, 2013). Esse teste avalia a variância de todas as unidades da amostra e avalia se as diferenças entre as variáveis ambientais são significativas. Como as entradas são preditores lineares e uma matriz de resposta de um número arbitrário de colunas, esta análise descreve como a variação ambiental é atribuída a diferentes tratamentos experimentais. Para mais detalhes, ver Mcardle e Anderson (2013). A análise RDA (análise de redundância) foi utilizada para verificar as relações entre os dados limnológicos e

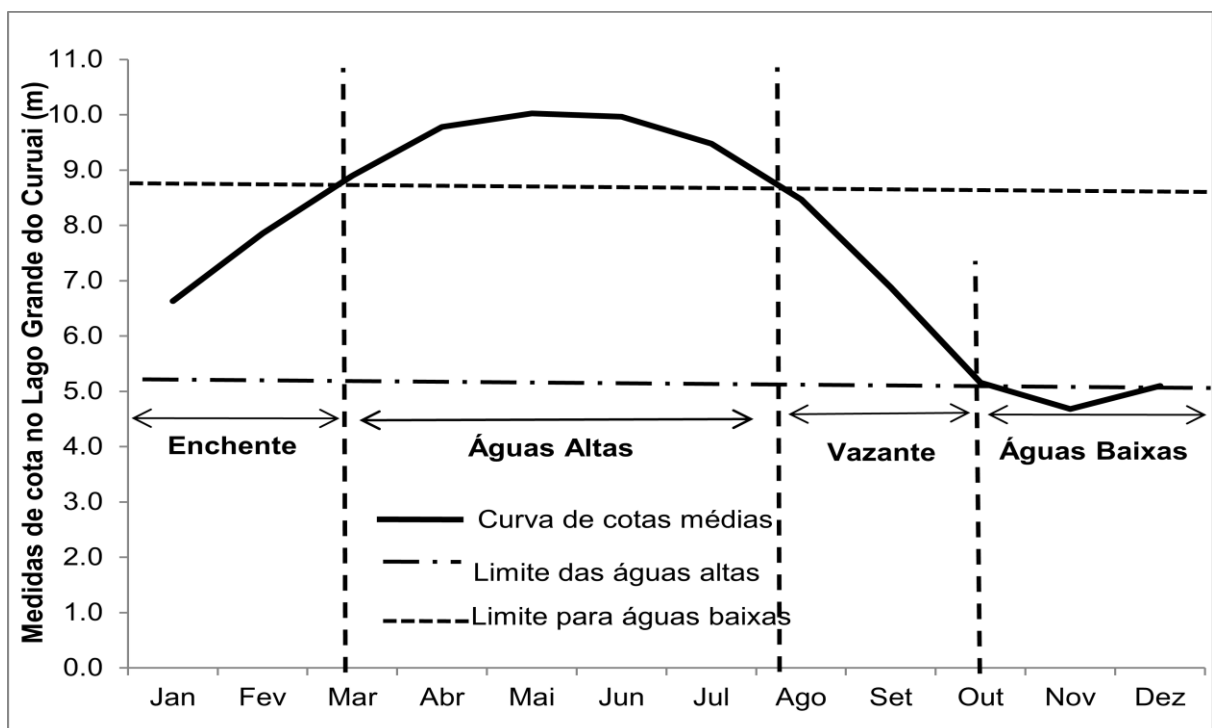
biovolume fitoplanctônico das espécies, das classes taxonômicas, e dos grupos funcionais (GF) e morfofuncionais (GFBM), utilizando-se apenas dados da superfície do lago. Nesta análise, na matriz de dados limnológicos foi utilizado procedimento de seleção (Ordstep) ( $p \leq 0,05$ ) e verificação de multicolinearidade, onde as variáveis com valores de Vif (*variance inflation factor*) acima de 10 foram retirados. Na análise dos grupos funcionais, para a matriz biótica, foram utilizados os táxons com valores de biovolume iguais ou superiores a 5%.

Todas as análises foram realizadas utilizando o programa R (Team, 2014).

## 5. RESULTADOS

### 5.1. ASPECTOS HIDROLÓGICOS E LIMNOLÓGICOS

Elementos hidrológicos entre os anos de 1983 e 2014 foram importantes instrumentos para definição das mudanças ambientais ocorridas no Lago Grande do Curuai. Padrões de chuvas diferentes foram observados na região durante o ciclo hidrológico. Dados de flutuação periódica do nível da água do Lago Grande do Curuai, na estação Curuai deram base para classificação e caracterização dos quatro hidroperíodos (enchente e cheia e vazante e seca) com suas respectivas durações no presente estudo. No lago, os níveis mínimos e máximos anuais de água foram, respectivamente,  $8,50 \pm 4,21$  e  $11,95 \pm 4,237$  m ( $n = 31$ ). Assim, estimamos os limites das quatro estações hidrológicas (nascente, alto, rubor e baixa) como 5,16 e 8,72 m, e classificamos os períodos hidrológicos (Figura 2).



**Figura 2.** Valores médios mensais do nível de água no lago Grande de Curuai, indicando quatro períodos hidrológicos da região.

Tomando por base tais premissas, o lago Grande do Curuai apresentou características bem distintas para profundidade, limite da Zona Eufótica, turbidez, e nos valores de clorofila  $\alpha$  entre os períodos amostrados (enchente e águas altas e vazantes e águas baixas). Por outro lado, foi observada pouca amplitude das variáveis: temperatura, condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido, e concentração de nutrientes. Diferenças significativas foram observadas nos padrões de precipitação entre os hidroperíodos apresentados neste estudo (Kruskal Wallis  $p = 0,008$ ) (Tabela 1).

Os valores de profundidade no lago tiveram grande variação nos extremos, com valores médios entre 2,3 m (águas baixas) a 8,7 m (águas altas); O limite da zona eufótica variou entre 0,4 m (águas baixas) a 2,5 m (águas altas) com diferenças significativas entre os hidroperíodos (Kruskal Wallis  $p < 0,001$ ); os valores médios de turbidez variaram entre 14,2 NTU (águas altas) e 172, NTU (águas baixas). (Tabela 1). A condutividade elétrica das águas do lago mostrou a maior média 48,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no período de vazante e a menor média de 42,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no período de enchente sem diferenças significativas entre os hidroperíodos (Kruskal Wallis  $p = 0,49$ ). Os valores médios de pH oscilaram de 7,2 na enchente e 6,4 no período de águas baixas caracterizando assim uma variação com diferenças significativas entre os períodos. As médias dos valores de concentração de oxigênio dissolvido variaram entre 4,4  $\text{mg L}^{-1}$  a 5,2  $\text{mg L}^{-1}$ , sem diferença significativa entre os hidroperíodos (ANOVA  $p = 0,28$ ).

As concentrações de carbono orgânico total apresentaram variação dos valores médios entre 2679,1  $\mu\text{g L}^{-1}$  na vazante e 4941,1  $\mu\text{g L}^{-1}$  nas águas baixas com diferença significativa entre os hidroperíodos. Em relação as concentrações médias por período de fósforo total, observou-se diferenças significativas entre os hidroperíodos, (Kruskal Wallis  $p < 0,001$ ), já os valores médios de SRP não apresentaram diferença significativa entre os períodos de amostragem, (Kruskal Wallis  $p = 0,34$ ). No período de águas baixas foram registrado a maior média de Clorofila  $\alpha$  81,3  $\mu\text{g L}^{-1}$  já na vazante foi observado a menor média de concentração de Clorofila  $\alpha$  25  $\mu\text{g L}^{-1}$ , sendo que os valores médios dos hidroperíodos apresentaram diferenças significativas. (Kruskal Wallis  $p < 0,001$ ). (Tabela 1).

**Tabela 1** - Resumo dos dados ambientais: precipitação (PLU), temperatura da água (TEM), turbidez (Turb), zona eufótica (Zeu), condutividade elétrica (Cond), pH, oxigênio dissolvido (OD), carbono orgânico dissolvido (COD), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico total (COT), fósforo total (PT), fósforo reactivo solúvel (SRP), nitrato ( $\text{NO}_3$ ), nitrito ( $\text{NO}_2$ ), amónio ( $\text{NH}_4$ ), Nitrogênio total dissolvido (NTD), Nitrogênio total (NT). Média (ME) e desvio padrão (DP) foram fornecidos.

Variable	Vazante		Águas baixas		enchente		Águas altas		One Way ANOVA	Kruskal Wallis
	ME	DP	ME	DP	ME	DP	ME	DP	p values	p values
PLU	85.10	30.00	85.70	62.40	276.70	53.60	251.50	128.50	-	0.008
TEM °C	30.60	0.60	29.60	0.80	29.00	0.80	29.50	0.30	<0.001	-
Turb NTU	32.20	28.00	172.00	83.50	74.60	33.30	14.20	5.50	-	<0.001
Zeu (m)	2.00	0.70	0.40	0.20	0.70	0.30	2.50	0.60	-	<0.001
Cond $\mu\text{S.cm}^{-1}$	42.10	1.80	47.10	5.40	48.10	16.80	44.10	3.80	-	0.49
pH	7.20	0.50	7.10	0.40	7.10	0.20	6.40	0.30	<0.001	-
OD $\text{mg.L}^{-1}$	4.40	0.70	5.20	1.40	5.20	0.90	5.10	0.90	0.28	-
COP $\text{mg.L}^{-1}$	0.09	0.12	0.23	0.25	0.39	0.45	0.19	0.17	-	0.160
COD $\text{mg.L}^{-1}$	3.83	0.48	3.12	0.81	2.40	0.33	3.74	0.94	-	0.010
TOC $\text{mg.L}^{-1}$	3.68	0.48	3.32	0.74	2.68	0.35	4.94	0.71	-	0.0018
PT $\text{mg.L}^{-1}$	0.07	0.03	0.33	0.08	0.05	0.03	0.04	0.02	-	<0.001
SRP $\text{mg.L}^{-1}$	0.01	0.00	0.02	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	-	0.34
$\text{NO}_3$ $\text{mg.L}^{-1}$	0.02	0.01	0.22	0.14	0.15	0.06	0.05	0.01	-	0.001
$\text{NO}_2$ $\text{mg.L}^{-1}$	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	-	0.049
$\text{NH}_4$ $\text{mg.L}^{-1}$	0.02	0.01	0.23	0.14	0.08	0.06	0.01	0.00	-	<0.001
NTD $\text{mg.L}^{-1}$	0.39	0.09	0.41	0.08	0.32	0.03	0.30	0.04	-	0.002
NT $\text{mg.L}^{-1}$	0.42	0.11	0.44	0.09	0.33	0.05	0.34	0.09	-	0.0016

As concentrações de Nitrato nas águas do Lago Grande do Curuai apresentaram diferenças significativas entre os períodos de estudo (Kruskal Wallis  $p < 0,001$ ), com máxima de  $224,9 \mu\text{g L}^{-1}$  no período de águas altas, e mínima de  $23,4 \mu\text{g L}^{-1}$  na enchente. Em relação aos valores médios de Nitrito, verificou-se mesmo padrão de valor máximo para águas altas  $16,8 \mu\text{g L}^{-1}$  e menor concentração na enchente  $2 \mu\text{g L}^{-1}$  e diferença significativa entre os hidroperíodos (Kruskal Wallis  $p = 0,49$ ). Foram registradas diferenças significativas para as concentrações de Amônia durante os períodos de amostragem (Kruskal Wallis  $p < 0,001$ ), sendo que o maior valor médio correspondeu ao período de águas altas  $231,1 \mu\text{g L}^{-1}$  e o menor valor médio registrado foi  $10 \mu\text{g L}^{-1}$  no período de águas baixas (Tab 2).

As concentrações médias de Nitrogênio total apresentaram padrões semelhantes de variação temporal em relação ao nitrito e nitrato com diferenças significativas entre os hidroperíodos (Kruskal Wallis  $p < 0,001$ ), sendo que o maior valor médio de nitrogênio total foi registrado nas águas altas  $435,4 \mu\text{g L}^{-1}$  e menor valor no período de enchente  $323,2 \mu\text{g L}^{-1}$ .

Os resultados aqui apresentados mostram um sistema com mudanças direcionadas pelo pulso de inundação, decorrente das fases ou mudanças hidrológicas da Região, resultantes em dois padrões de variações: o primeiro relacionado aos aspectos físicos e estruturais (Profundidade da coluna d'água, Temperatura, turbidez, Zona eufótica e condutividade), o segundo padrão, refere-se à aspectos químicos da água (Compostos de Carbono, Nitrogênio, Fósforo, pH e OD) ambos relacionados a estruturação da comunidade fitoplanctônica.

## 5.2. ESTRUTURA TAXONOMICA E FUNCIONAL DO FITOPLANCTON NO LAGO GRANDE DO CURUAI

Um total de 101 táxons foi registrado no Lago Grande de Curuai, distribuídos em oito grandes categorias taxonômicas: Chlorophyceae (31 taxa), Cyanobacteria (27 taxa), Bacillariophyceae (17 taxa), Coscinodiscophyceae (7 taxa), Zygnemaphyceae (7 taxa), Euglenophyceae (4 taxa), Dinophyceae (4 taxa), Cryptophyceae (3 taxa) e Synurophyceae (1 taxa) (Tabela 2). Em média, maior riqueza de espécies foi encontrada durante a cheia ( $60 \pm 4$  espécies por amostra), diminuindo para águas baixas ( $38 \pm 4$  espécies por amostra), na vazante ( $36 \pm 6$  espécies por amostra) e na enchente ( $23 \pm 4$  espécie por amostra). (Figura. 3; Apendice A)

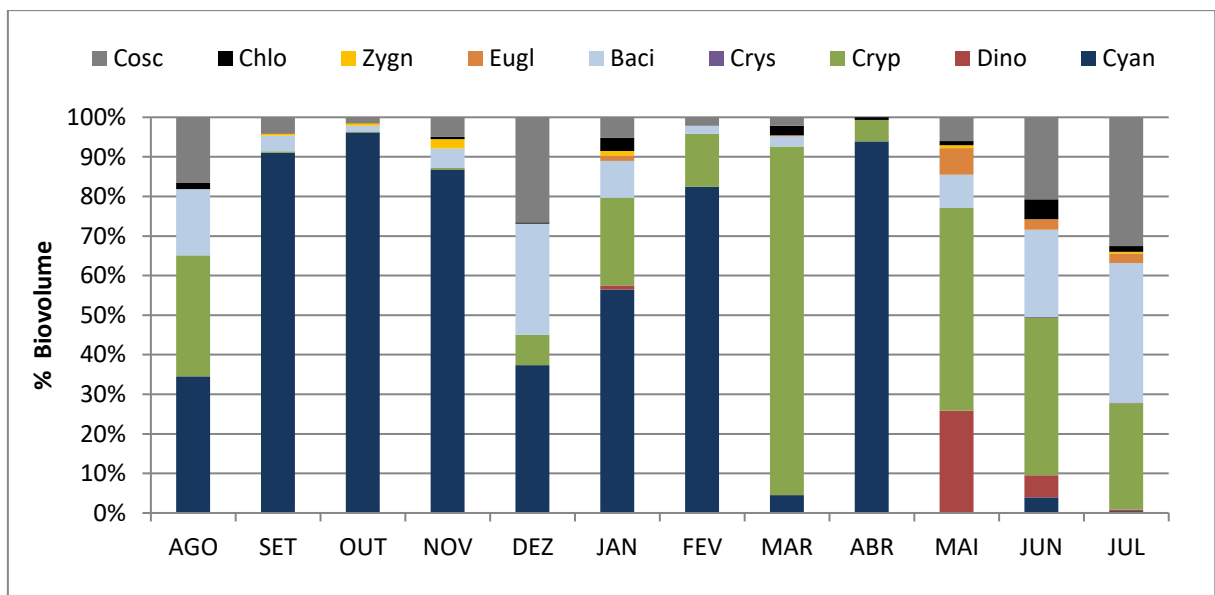
As 32 espécies descritoras (5% da biomassa total) em relação aos hidroperíodos, foram categorizadas em 14 Grupos Funcionais (K; H1; M; S1; L0; X2; Y; C; P; MP; A; W1; W2 e J) e membras de 5 Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (MBFG): III, IV, V, VI e VII e 14 Gupos Funcionais (Tabela 2; Figuras 4 e 5).

As cianobactérias foram o grupo mais abundante no Lago Grande de Curuai durante o período do estudo, com uma contribuição média de 87,7% do biovolume total, caracterizada pelos GFs (K, H1 e M) e pelos MBFGs (III e VII) e. As espécies mais importantes em GFs foi H1 e em MBFG foi III representados por *Dolichospermum circinale* (44,1% do biovolume total) e *Dolichospermum flos-aquae* (24,2% do biovolume total) (Figuras 4 e 5). Estas espécies possuem grandes filamentos com aerotopos, potencial de toxicidade, e maior tolerância a condições limitantes de luz, estados tróficos elevados e também é resistente ao pastejo. Este grupo foi mais abundante em agosto e setembro (período de vazante) (Figura 3). As algas com grandes colônias mucilaginosas, representadas por *Aphanocapsa grevillei* (10,6% do biovolume) GF (K) e MBFG (VII) e *Microcrocis obvoluta* (8,1%) GF (M) e GFBM (VII) São indicadores de estados tróficos elevados e maior resistência ao pastejo, foram mais abundantes em novembro e dezembro (águas baixas), janeiro e fevereiro (período de início da enchente) e abril (águas altas) (Figura 3).

Os códons dos GFs se arranjam de uma forma praticamente mensal, porém os códons principais foram H1, M, K, P e X2 que estiveram presentes em quase todos os períodos, (Figura 4). O codão H1 compreende o gênero de cianobactérias *Anabaena*, atualizado para *Dolichospermum* (Wacklin, Hoffmann & Komarek, 2009), *Anabaenopsis* e *Aphanizomenon*, são característicos de eutrofização, lagos estratificados e rasos com baixo teor de Nitrogênio

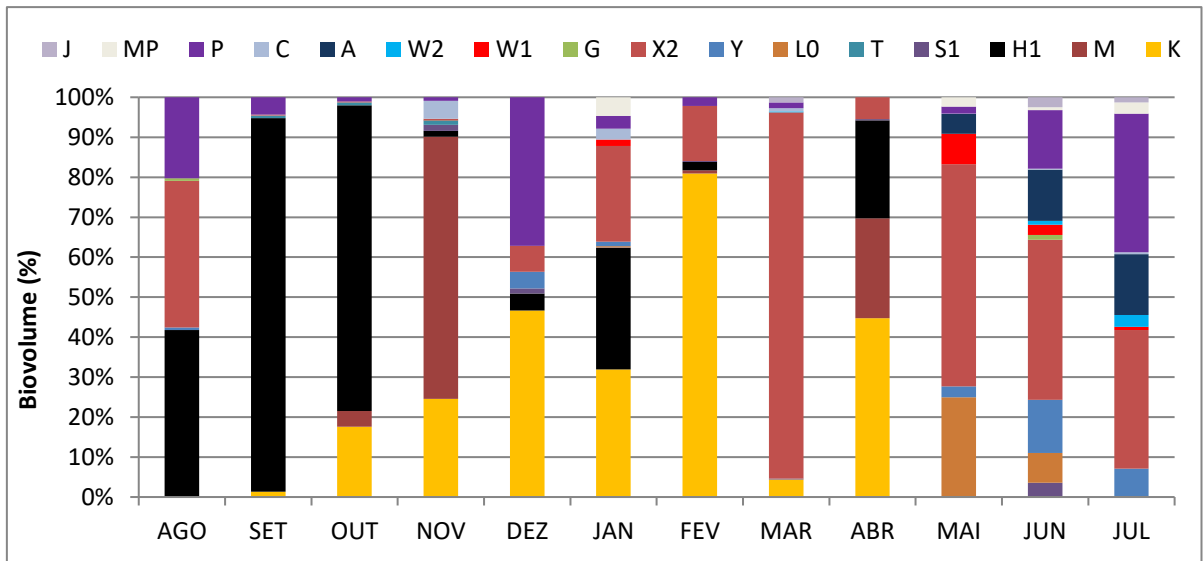
(Padisák *et al.*, 2009). O codão M é comum em ambientes eutróficos a hipereutróficos com massas de água pequena a média dimensão. O codão de K é indicativo de ambientes com águas rasas e ricas em nutrientes, as espécies representativas desse grupo incluem pequenos organismos unicelulares e/ou coloniais sem a presença de aerotopos. O Codão X2 espécies bem adaptadas à ambientes com pouca profundidade, mesotróficos. O codão P é característico de lagos rasos em que a profundidade média é de 2-3 metros, com uma camada de mistura contínua ou semi-contínua e neste estudo foi representado principalmente por *Aulacoseira granulata*.

A menor contribuição relativa para o biovolume total foi MBFG IV, mas com maior riqueza (33 taxa). As espécies dos GFs (J, MP e S1) e MBFG IV possuem representantes de tamanho pequeno, tolerâncias moderadas à limitação de recursos e baixas a moderadas taxas de afundamento, suscetíveis a altas perdas de pastejo (Figuras 4 e 5). MBFGs V (flagelados unicelulares de médio a grande porte) e VI (organismos não flagelados com exoesqueletos silicosos) apresentaram maior biomassa nos períodos de água alta e descarga. *Aulacoseira* (7 taxa) era dominante no MBFG VI (Figura 5).

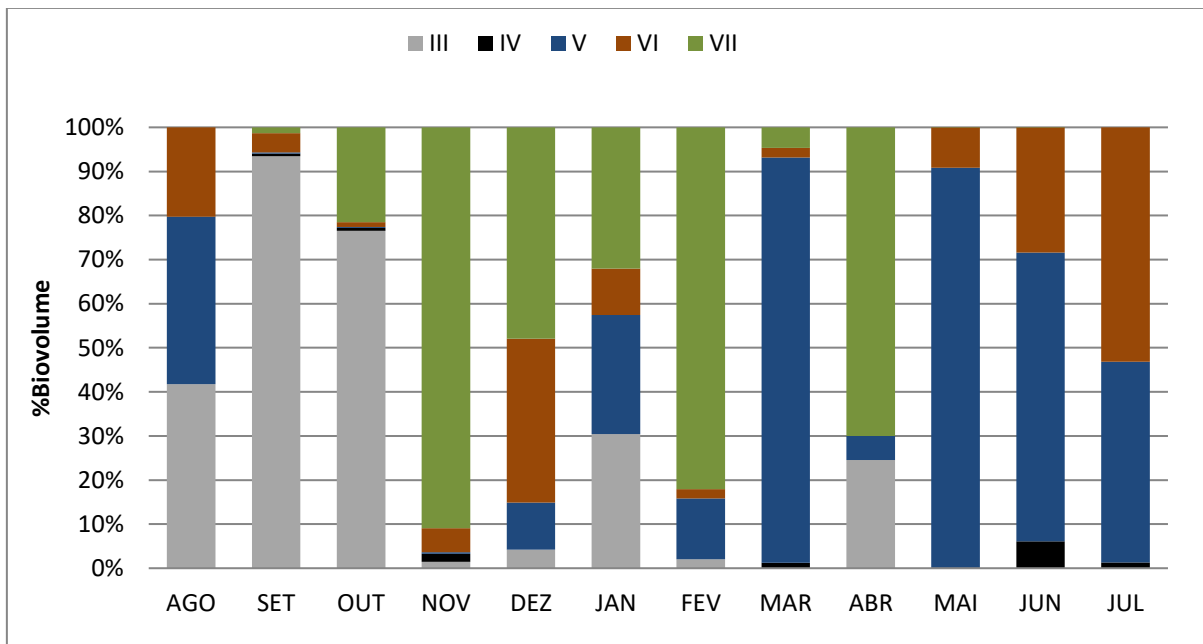


**Figura 3.** Biovolume Relativo (%) dos principais Classes Taxonômicas do Fitoplanton no Lago Grande de Curuai durante o ano hidrológico.





**Figura 4.** Biovolume Relativo (%) dos principais Grupos Funcionais (GFs) do Fitoplanton no Lago Grande de Curuai durante o ano hidrológico.



**Figura 5.** Biovolume Relativo (%) dos principais Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (GFs) do Fitoplanton no Lago Grande de Curuai durante o ano hidrológico.

**Tabela 2.** Principais espécies do fitoplâncton (contribuição > 5% para o biovolume total por amostra), em seus grupos: taxonômicos, Funcionais (GFs) e Funcionais baseados na Morfologia (GFBM) no lago Grande de Curuai (CYA = *Cyanobacteria*; DIN = *Dinophyceae*; CRY = *Cryptophyceae*; COS = *Coscinodiscophyceae*; BAC = *Bacillariophyceae*; EUG = *Euglenophyceae*; CHL = *Chlorophyceae*).

	Phylogenetic	GFs	GFBM
<i>Aphanocapsa grevillei</i> (Berkeley) Rabenhorst	CYA	K	VII
<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) Wacklin, Hoffmann & Komárek	CYA	H1	III
<i>Dolichospermum flos-aquae</i> (Brébisson ex Bornet & Flahault) P. Wacklin, L. Hoffmann & J. Komárek	CYA	H1	III
<i>Dolichospermum planctonicum</i> (Brunnthaler) Wacklin, L. Hoffmann & Komárek	CYA	H1	III
<i>Dolichospermum spiroides</i> (Klebhan) Wacklin, L. Hoffmann & Komárek	CYA	H1	III
<i>Microcrocis obvoluta</i> (Tiffany) T.H. Frank & A. G. Landman	CYA	M	VII
<i>Oscillatoria</i> sp.1	CYA	S1	IV
<i>Planktolyngbya brevicellularis</i> G. Cronberg & Komárek	CYA	S1	VII
<i>Peridinium</i> sp.1	DIN	L0	V
<i>Peridinium</i> sp.2	DIN	L0	V
<i>Peridinium</i> sp.3	DIN	L0	V
<i>Peridinium</i> cf. <i>Umbonatum</i> F. Stein	DIN	L0	V
<i>Cryptomonas brasiliensis</i> A. Castro, C. Bicudo & D. Bicudo	CRY	X2	V
<i>Cryptomonas curvata</i> Ehrenberg	CRY	Y	V
<i>Cryptomonas marssonii</i> Skuja	CRY	X2	V
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	COS	C	VI
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenb.) Simonsen	COS	C	VI
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	COS	P	VI
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (O. Müller) Simonsen	COS	P	VI
<i>Aulacoseira herzogii</i> (Lemmermann) Simonsen	COS	P	VI
<i>Aulacoseira</i> sp.1	COS	C	VI
<i>Eunotia</i> sp.	BAC	MP	IV
<i>Frustulia</i> sp.	BAC	MP	IV
<i>Surirella</i> sp.	BAC	MP	IV
<i>Urosolenia</i> cf. <i>eriensis</i> (H. L. Smith) Round & R. M. Crawford in Round, R.M. Crawford & D. G. Mann	BAC	A	VI
<i>Urosolenia</i> cf. <i>longiseta</i> (O. Zacharias) Edlund & Stoermer	BAC	A	VI
<i>Urosolenia</i> sp.	BAC	A	VI
<i>Euglena</i> sp.1	EUG	W1	V
<i>Phacus</i> sp.	EUG	W1	V
<i>Trachelomonas</i> sp.	EUG	W2	V
<i>Coelastrum</i> sp.	CHL	J	IV
<i>Crucigeniella pulchra</i> (West & G. S. West) Komárek	CHL	J	IV

### 5.3. RESULTADOS ESTATÍSTICOS

As análises estatísticas indicam que houve uma influência significativa da dinâmica hidrológica anual na estruturação da comunidade fitoplanctônica, nos níveis de classes taxonômicas, Grupos Funcionais (GFs) e Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (GFBM) entre os hidroperíodos. Os resultados dos testes de PERMANOVA mostraram um total de 5 variáveis ambientais que têm uma influência significativa na estrutura das Classes taxonômicas, GFs e GFBM ao longo do ciclo hidrológico analisado (Tabelas 3, 4, 5). A precipitação e temperatura foram as variáveis mais significativas e mais ajustadas ( $R^2$ ), na estruturação das Classes taxonômicas, porém em relação aos GFs as variáveis ambientais significativas mais ajustadas ( $R^2$ ) foram precipitação, turbidez e carbono orgânico particulado (POC). A turbidez foi a variável significativa mais ajustada ( $R^2$ ) à estrutura do MBFG. Enquanto as variáveis como precipitação e temperatura e também são significativas, embora tenham um ajuste mais fraco. Apenas uma variável relacionada aos nutrientes foi significativa para as três categorias (Classes, GFs, GFBM) de abordagens deste estudo (COP) (Tabelas 3, 4, 5).

**Tabela 3.** Resultados do teste PERMANOVA das variáveis limnológicas em relação estrutura das Classes taxonômicas. F = estatística do teste; p = valor significativo do teste ( $\leq 0,05$  significativo); R2 = variação proporcional atribuída ao tratamento. PREC = precipitação, Tem = temperatura da água, Turb = turbidez, Zeu = zona eufótica, Cond = condutividade elétrica, OD = oxigênio dissolvido, COD = carbono orgânico dissolvido, COP = carbono orgânico particulado. COT = carbono orgânico total, PT = fósforo total, SRP = Fósforo reativo solúvel, NO<sub>3</sub> = nitrato, NO<sub>2</sub> = nitrito, NH<sub>4</sub> = amônio, NTD = nitrogênio total dissolvido, NTD = nitrogênio total (NT)

<b>Variable</b>	<b>F- Model</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>p</b>
<b>PREC</b>	5.413	0.116	<b>0.001</b>
<b>Temp</b>	5.481	0.117	<b>0.001</b>
<b>Turb</b>	2.700	0.058	0.023
<b>Zeu</b>	1.239	0.026	0.269
<b>Cond</b>	0,661	0.014	0.672
<b>pH</b>	3.192	0.006	<b>0.009</b>
<b>OD</b>	0.319	0.006	0.917
<b>COT</b>	1.387	0.029	0.225
<b>COD</b>	0.943	0.020	0.455
<b>COP</b>	2.429	0.052	<b>0.036</b>
<b>NTD</b>	2.071	0.024	0.082
<b>PT</b>	1.018	0.021	0.397
<b>SRP</b>	1.116	0.023	0.344
<b>NTD</b>	0.389	0.008	0.882
<b>NO<sub>3</sub></b>	0.908	0.019	0.522
<b>NO<sub>2</sub></b>	0.171	0.003	0.989
<b>NH<sub>4</sub></b>	0.593	0.012	0.700
<b>NT</b>	0.583	0.012	0.714
<b>Resid</b>		0.386	

**Tabela 4.** Resultados do teste PERMANOVA das variáveis limnológicas em relação a estrutura dos Grupos Funcionais (GFs). F = estatística do teste; p = valor significativo do teste ( $\leq 0,05$  significativo); R<sup>2</sup> = variação proporcional atribuída ao tratamento. PREC = precipitação, Tem = temperatura da água, Turb = turbidez, Zeu = zona eufótica, Cond = condutividade elétrica, OD = oxigênio dissolvido, COD = carbono orgânico dissolvido, COP = carbono orgânico particulado. COT = carbono orgânico total, PT = fósforo total, SRP = Fósforo reativo solúvel, NO<sub>3</sub> = nitrato, NO<sub>2</sub> = nitrito, NH<sub>4</sub> = amônio, NTD = nitrogênio total dissolvido, NTD = nitrogênio total (NT)

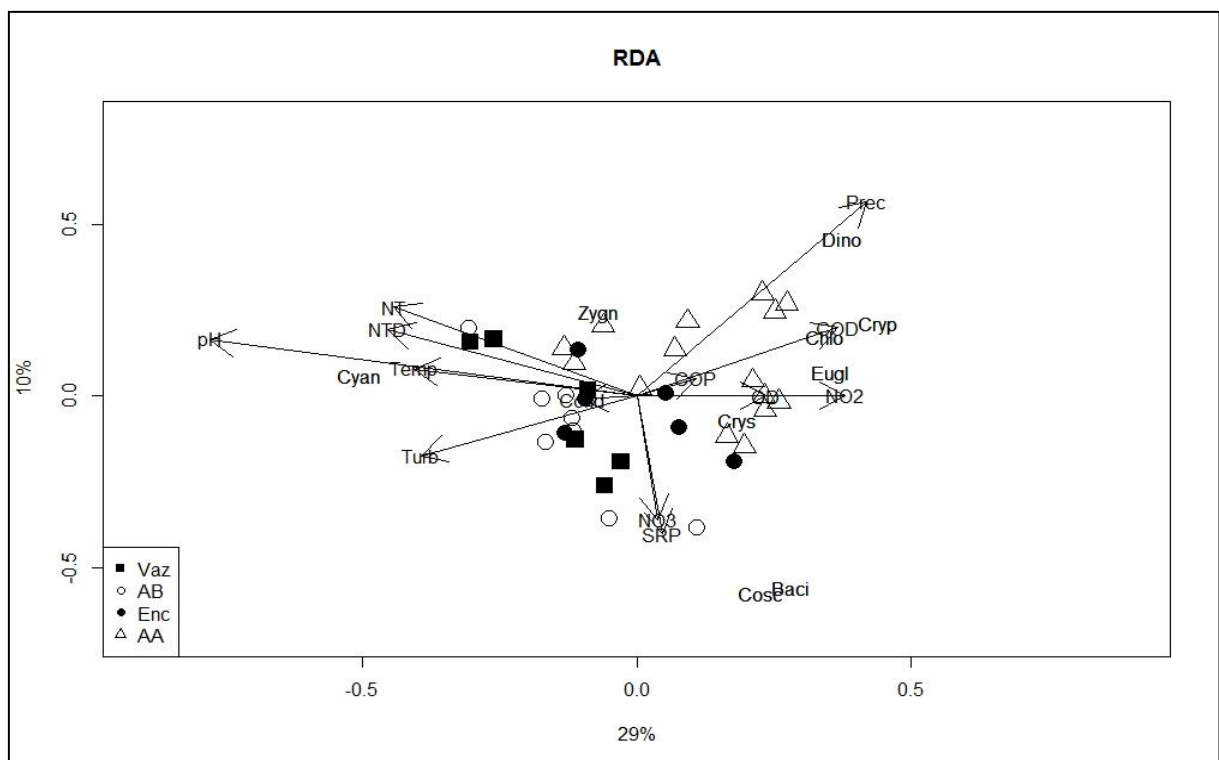
Variable	F- Model	R <sup>2</sup>	p
<b>PREC</b>	4.206	0.087	<b>0.001</b>
<b>Temp</b>	4.198	0.087	0.002
<b>Turb</b>	4.646	0.097	<b>0.001</b>
<b>Zeu</b>	1.708	0.035	0.106
<b>Cond</b>	1.303	0.027	0.226
<b>pH</b>	2.225	0.046	<b>0.026</b>
<b>OD</b>	0.326	0.006	0.970
<b>COT</b>	1.262	0.026	0.244
<b>COD</b>	0.843	0.017	0.568
<b>COP</b>	3.030	0.063	<b>0.001</b>
<b>NTD</b>	0.309	0.006	0.984
<b>PT</b>	0.894	0.018	0.535
<b>SRP</b>	1.117	0.023	0.344
<b>NO<sub>3</sub></b>	0.906	0.018	0.557
<b>NO<sub>2</sub></b>	0.562	0.011	0.850
<b>NH<sub>4</sub></b>	1.581	0.033	0.135
<b>NT</b>	0.753	0.015	0.646
<b>Resid</b>		0.375	

**Tabela 5.** Resultados do teste PERMANOVA das variáveis limnológicas em relação estrutura dos Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (GFBM). F = estatística do teste; p = valor significativo do teste ( $\leq 0,05$  significativo); R<sup>2</sup> = variação proporcional atribuída ao tratamento. PREC = precipitação, Tem = temperatura da água, Turb = turbidez, Zeu = zona eufótica, Cond = condutividade elétrica, OD = oxigênio dissolvido, COD = carbono orgânico dissolvido, COP = carbono orgânico particulado. COT = carbono orgânico total, PT = fósforo total, SRP = Fósforo reativo solúvel, NO<sub>3</sub> = nitrato, NO<sub>2</sub> = nitrito, NH<sub>4</sub> = amônio, NTD = nitrogênio total dissolvido, NTD = nitrogênio total (NT)

<b>Variable</b>	<b>F- Model</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>p</b>
<b>PREC</b>	4.353	0.092	<b>0.002</b>
<b>Temp</b>	4.762	0.095	<b>0.003</b>
<b>Turb</b>	4.646	0.097	<b>0.001</b>
<b>Zeu</b>	1.341	0.028	0.223
<b>Cond</b>	1.065	0.022	0.388
<b>pH</b>	2.676	0.056	<b>0.024</b>
<b>OD</b>	0.278	0.005	0.962
<b>COT</b>	1.098	0.023	0.373
<b>COD</b>	0.757	0.016	0.601
<b>COP</b>	2.214	0.047	<b>0.044</b>
<b>NTD</b>	0.251	0.005	0.974
<b>PT</b>	1.005	0.021	0.390
<b>SRP</b>	1.015	0.021	0.473
<b>NO<sub>3</sub></b>	0.975	0.020	0.480
<b>NO<sub>2</sub></b>	0.467	0.009	0.859
<b>NH<sub>4</sub></b>	1.608	0.034	0.131
<b>NT</b>	0.707	0.015	0.624
<b>Resid</b>		0.375	

Os resultados das RDAs geraram grupos de meses relacionados a um período específico com características ambientais e de Classes Taxonômicas, GFs e GFBM (Figuras 6; 7 e 8). A RDA para as Classes taxonomicas (CT) explicou 39% nos dois primeiros eixos do total de variabilidade na composição da comunidade fitoplanctônica, sendo que os

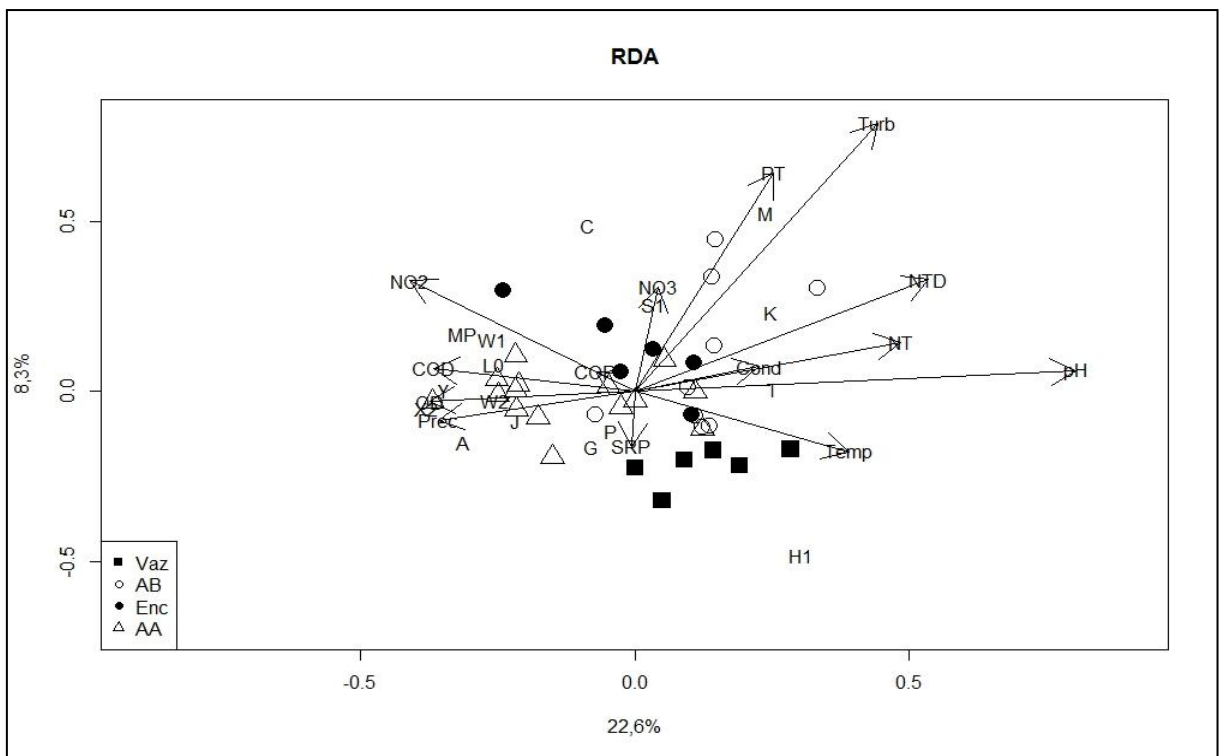
primeiros dois eixos canônicos juntos representaram a variância em relação a comunidade-ambiente (eixo 1: 29%; eixo 2: 10%). Eixo 1 correlacionou-se positivamente com OD, NO<sub>2</sub> e COD e negativamente com temperatura, pH, turbidez, NTD e NT. O eixo 2 foi correlacionado negativamente com o NO<sub>3</sub> e SRP (Figura 6). No período de águas altas houve associação positiva com 5 classes: Cryptophyceae, Crysohyceae, Dinophyceae, Chlorophyceae e Euglenophyceae, onde houveram maiores valores de NO<sub>2</sub>, COD, COP e OD. As classes Bacillariophyceae e Coscinodiscophyceae estiveram relacionadas com maiores concentrações de NO<sub>3</sub> e SRP, e a classe Cyanophyceae foi associada a maiores valores de pH, temperatura, turbidez, NTD e NT.



**Figura 6.** Primeiro e segundo eixos da Análise de Redundância (RDA) baseados no biovolume das Classes Taxonomicas (CT) do fitoplankton e dados ambientais no ciclo hidrológico do lago Grande de Curuai. Eixo1 (RDA1), Eixo2 (RDA2). Prec = precipitação, Temp = temperatura da água, Turb = turbidez, Cond = condutividade elétrica, OD= oxigênio dissolvido, COD = carbono orgânico dissolvido, COP= carbono orgânico particulado, SRP = fósforo reativo solúvel, NO<sub>3</sub> = nitrato, NO<sub>2</sub> = nitrito, NTD = nitrogênio total dissolvido, NT= nitrogênio total.

A análise de redundância (RDA) realizada a partir das matrizes de biovolume dos Grupos Funcionais (GFs), apresentou explicabilidade nos primeiros dois eixos canônicos juntos de 30,9% da variância em relação a comunidade-ambiente (eixo 1: 22,6%; eixo 2:

8,3%). Eixo 1 correlacionou-se positivamente com pH, NTD, NT, temperatura e Condutividade e negativamente com OD, precipitação, COD e NO<sub>2</sub>. O eixo 2 foi correlacionado positivamente com NO<sub>3</sub>, PT e turbidez e negativamente com SRP (Figura 7). Nesta análise, nota-se a predominância do grupo H1 e M, no período de vazante e águas baixas, sendo que H1 predomina em condições de temperaturas mais elevadas e maiores concentrações de SRP; o grupo M associou-se a condições de maior turbidez e fósforo total (PT). No início da enchente, com maiores concentrações de PT e turbidez, e predominância dos grupos Ke M. Um segundo padrão, durante o período de águas altas, onde houve aumento nas concentrações de OD, COD, NO<sub>2</sub> e precipitação, com predominância dos grupos os grupos W1, W2, MP e L0.

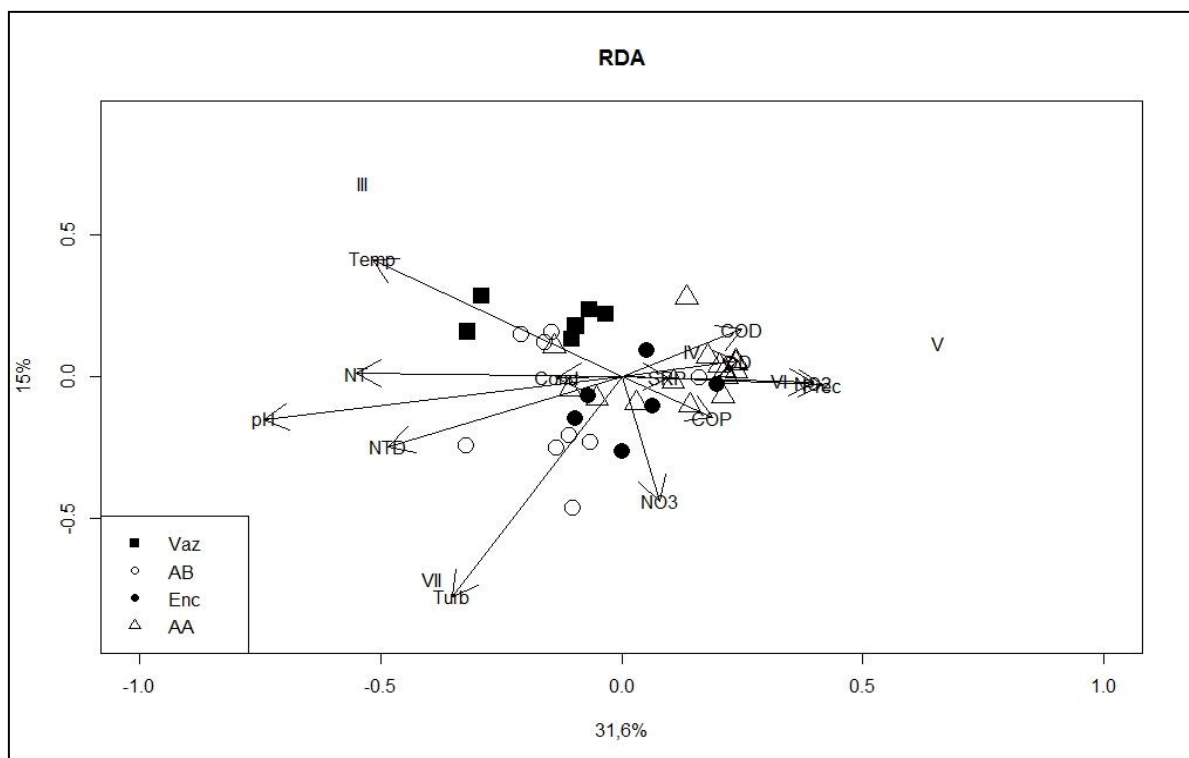


**Figura 7.** Primeiro e segundo eixos da Análise de Redundância (RDA) baseados no biovolume dos Grupos Funcionais (GFs) do fitoplâncton e dados ambientais no ciclo hidrológico do lago Grande de Curuai. Eixo1 (RDA1), Eixo2 (RDA2). Prec = precipitação, Temp = temperatura da água, Turb = turbidez, Cond = condutividade elétrica, OD= oxigênio dissolvido, COD = carbono orgânico dissolvido, COP= carbono orgânico particulado, PT= Fósforo Total, SRP = fósforo reativo solúvel, NO<sub>3</sub> = nitrato, NO<sub>2</sub> = nitrito, NTD = nitrogênio total dissolvido, NT = nitrogênio total.

Os resultados da RDA dos GFBM, relataram para os dois primeiros eixos canônicos juntos 46,6% da variabilidade total na relação comunidade-ambiente (eixo1: 31,6%; eixo 2:



15%). O eixo 1 foi correlacionado positivamente com  $\text{NO}_2$ , Precipitação, SRP, OD, COP e COD; negativamente com NT, NTD, pH e condutividade. O eixo 2 foi correlacionado negativamente com turbidez e  $\text{NO}_3$  (Figura 8). Três grupos são evidentes; os primeiros relacionados ao nitrogênio total e à temperatura estão associados ao MBFG III e compreendem os meses do período de vazante do ciclo hidrológico. O segundo foi relacionado aos compostos de nitrogênio dissolvido e turbidez foi associado ao MBFG VII e englobou os meses do período de águas baixas. O último relacionado a compostos de carbono, chuva, SRP,  $\text{NO}_2$  e  $\text{NO}_3$  foi associado ao GFBM V e compreendeu o período de enchente e águas altas.



**Figura 8.** Primeiro e segundo eixos da Análise de Redundância (RDA) baseados no biovolume dos Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (GFBM) do fitoplâncton e dados ambientais no ciclo hidrológico do lago Grande de Curuai. Eixo1 (RDA1), Eixo2 (RDA2). Prec = precipitação, Temp = temperatura da água, Turb = turbidez, Cond = condutividade elétrica, OD= oxigênio dissolvido, COD = carbono orgânico dissolvido, COP= carbono orgânico particulado, SRP = fósforo reativo solúvel,  $\text{NO}_3$  = nitrato,  $\text{NO}_2$  = nitrito, NTD = nitrogênio total dissolvido, NT = nitrogênio total.

## 6. DISCUSSÃO

O pulso de inundação, como sendo o macro fator ambiental, direciona as mudanças bióticas e abióticas nas planícies de inundação (Junk *et al.*, 1989; 2012; Devercelli *et al.*, 2010). Desta forma a estrutura das comunidades do fitoplâncton nos sistemas de várzea amazônicos é determinada principalmente numa estrutura macro pelo regime hidrológico da região (Huszar & Reynolds 1997; Melo & Huszar, 2000,) e localmente pela dinâmica de disponibilidade de recursos, principalmente luz e nutrientes ( Reynolds *et al.*, 2002; Kruk & Segura, 2012;). Estudamos os principais fatores ambientais que influenciam a comunidade fitoplanctônica durante o ano hidrológico; a estrutura da comunidade fitoplanctônica neste lago de várzea amazônico em diferentes fases do ciclo hidrológico; a relação entre fatores ambientais e a composição e variação de GFs e MBFGs ao longo do ciclo hidrológico anual em um lago de várzea da Amazônia e as abordagens de GFs e GBFM do fitoplâncton como ferramentas para investigar mudanças ambientais decorrentes do pulso de inundação neste lago

Os resultados mostram um gradiente temporal de oscilações na maior parte do conjunto de variáveis ambientais deste estudo. Testamos por meio da PERMANOVA, quais as variáveis ambientais influenciam significativamente na estruturação das CT, GFs e MBFGs, os resultados evidenciaram 4 variáveis influentes ao longo do ciclo hidrológico para as 3 abordagens: Precipitação, temperatura, turbidez, pH e COP.

Além disso os resultado aqui apresentados descrevem os padrões de variabilidade das condições ambientais do Lago Grande do Curuai. Observamos que os resultados estão de acordo com outros estudos realizados na várzea Curuai, principalmente luz e nutrientes que nessa planície de inundação está relacionada com o regime hidrológico da região (Barbosa *et al.*, 2010; Moreira-Turcq *et al.*, 2013), esses fatores ambientais envolve ressuspensão de sedimento na coluna d'água, e também do *input* de nutrientes, que são trazidos através do fluxo de água e escoamento superficial (Moreira-Turcq *et al.*, 2013). Os fluxos de água nesta várzea, representados principalmente pelas saídas de água no lago (vazante à águas baixas), e pelas entradas de água (enchente à águas altas), são responsáveis Desta forma os padrões de variabilidade das condições ambientais do Lago Grande do Curuai, estão de acordo com outros estudos realizados na várzea Curuai, principalmente luz e nutrientes que nessa planície de inundação está relacionada com o regime hidrológico da região (Barbosa *et al.*, 2010;

Moreira-Turcq *et al.*, 2013). Os fluxos de água nesta várzea, representados principalmente pelas saídas de água no lago (vazante as águas baixas), e pelas entradas de água (enchente a águas altas), são responsáveis pela grande heterogeneidade ambiental nessa planície de inundação (Afonso *et al.*, 2011; Bonnet *et al.*, 2008).

A variabilidade sazonal da disponibilidade de luz na várzea do Curuai tem sido documentada por diversos métodos e estudos, e dão suporte aos nossos resultados. Os altos valores de turbidez e/ou sólidos suspensos totais (SST) durante as águas baixas refletem a ressuspensão de sedimentos, causadas por ventos e baixa profundidade no período (Alcantâra *et al.*, 2010; Barbosa *et al.*, 2010, Moreira-Turcq *et al.*, 2013). Os fluxos de entrada de água do Rio Amazonas para a planície de inundação vêm de dois canais permanentes, (Barbosa *et al.*, 2006; Bonnet *et al.*, 2008), e outras fontes de água com diferentes concentrações de sólidos suspensos que combinado com processos de sedimentação carga de sólidos na planície, marcam a redução da turbidez das águas no período de enchente para as águas altas (Barbosa *et al.*, 2010; Moreira-Turcq *et al.*, 2013).

A turbidez da água torna-se um fator chave no controle da disponibilidade de luz subaquática na Várzea do Curuai (Barbosa *et al.*, 2010; Moreira-Turcq *et al.*, 2013). Esses padrões revelam que diferentes componentes ambientais influenciam a estrutura da comunidade fitoplanctônica nos sistemas de várzea Amazônico. Nestes aspectos luz e nutrientes podem ser considerados como os principais fatores que afetam a composição e estrutura dos da Comunidade Fitoplanctônica neste lago de várzea.

Os resultados deste estudo mostram o aumento das concentrações de NT e a elevação da temperatura no período de vazante, fatores que favoreceram à maior densidade e biovolume fitoplânctônico neste período, dada as altas biomassas das espécies de *Dolichospermum* spp. O menor biovolume da enchente para as águas altas, remete ao efeito de diluição e escoamento hidrométrico com a maior entrada de água na várzea (Neiff, 1990) nesses hidroperíodos, responsável por mudanças significativas do nível da água, fator que pode causar o colapso do fitoplâncton dominantes comuns estados estáveis (Yang *et al.*, 2016). Assim, a heterogeneidade ambiental da enchente para as águas altas, tem relação com a disponibilidade de diferentes nichos e conseqüentemente com a composição do fitoplâncton. (Bortolini *et al.*, 2016)

Em contraste com esses resultados, estudo realizados em lagos de planície de inundação na Amazônia documentam dominância de cianobactérias em períodos de vazante e

águas baixas e redução da densidade e ou biovolume nas águas altas (Huszar & Reynolds 1997; Melo & Huszar, 2000, Casali *et al.*, 2011).

Diferentes variáveis ambientais impulsionam a relação fitoplâncton-ambiente, e estas variações estão mais associadas com aumentos nos fluxos de água. O período de enchente e águas altas esteve representado principalmente por Cryptophyceas, Diatomáceas, Coscinodiscophyceae e Clorofíceas. Neste hidroperíodo, ocorrem menores valores de densidade e biomassa fitoplanctônicas. Este padrão tem sido observado em sistemas lênticos de planícies de inundação (Garcia-de-Emiliani, 1993, 1997; Putz e Junk, 1997; Train e Rodrigues, 1997; Ibañez, 1998; Melo e Huszar, 2000; Melo *et al.*, 2004; Oliveira e Calheiros, 2000; Domitrovic, 2003; Taniguchi *et al.*, 2005; Granado, 2008; Nogueira *et al.*, 2010; Alves, 2011). No lago Batata, Huszar e Reynolds (1997) registraram a maior dominância de organismos flagelados nas águas altas, como *Cryptomonas cf. Marssonii* e *Peridinium umbonatum*, além de *Cyclotella stelligera* e *Merismopedia tenuissima*. No lago Grande do Curuai, Alves (2011) destaca o predomínio de *Cryptomonas marsonii* e *Cryptomonas brasiliensis* neste período.

Para melhor compreensão da estrutura e composição das CTs, FGs e MBFGs durante o ano hidrológico fizemos 3 RDAs, que mostrou num contínuo ‘turnover’ (renovação) na composição do fitoplancton ao longo dos hidroperíodos. Estes resultados corroboram a primeira hipótese deste estudo, de que os fatores ambientais como disponibilidade de luz e concentração de nutrientes, são os componentes que guiam a estruturação da Comunidade Fitoplanctônica ao longo do ciclo hidrológico neste lago, ainda por meio das RDAs evidenciam as porcentagens de explicabilidade da variância em relação comunidade-ambiente para cada uma das abordagens trabalhadas neste estudo (CT, GFs e GFBM), observamos que os resultados corroboram a segunda hipótese de que as abordagens de Classes Taxonômicas (CT), Grupos Funcionais (GFs) e de Grupos Funcionais baseados na morfologia do fitoplâncton (GFBM) apresentam capacidade de caracterizar a dinâmica da comunidade fitoplanctônica no Lago Grande do Curuai durante o ano hidrológico. Porém na avaliação das capacidades de aplicação funcional do fitoplancton para caracterizar a dinâmica temporal de variação ambiental do lago, evidenciou-se que os grupos funcionais baseados na morfologia (MBFG, Kruk *et al.*, 2010) foram os que apresentaram melhor potencial de explicabilidade em relação as condições hidrológicas (46,6% nos dois primeiros eixos).

A alta explicabilidade dessa abordagem sugere que o sistema de classificação (GFBM) pode ser usado em programas de biomonitoramento. Kruk e Segura (2012) utilizando esta

mesma abordagem, afirmam que modelos ecológicos que possuem explicação das variâncias iguais ou superiores a 30% podem ser considerados boas ferramentas em estudos ambientais. As principais vantagens dessa classificação em estudos ecológicos do fitoplâncton estão relacionadas: a relativa simplicidade, objetividade e menor conhecimento taxonômico necessário para sua aplicação, o que a torna uma abordagem muito eficiente. (Kruk *et al.*, 2010; Kruk e Segura 2012). A classificação funcional proposta por Reynolds *et al.*, (2002) considera as características do ambiente, o que dificulta a descrição detalhada dos grupos do fitoplâncton, pois requer conhecimento taxonômico mais refinado e conhecimento da ecologia das espécies ou grupos de espécies ( Padisák *et al.*, 2009)

Assim os táxons categorizados em códons dos **GFs (K, H1, S1 e M)** e **GFBM (III e VII)** apresentaram maior biovolume durante o período de vazante e águas baixas, enquanto que os táxons categorizados em **GFs (W1, W2, X2, Ye L0)** e **GFBM V**, foram predominantes na enchente e águas altas, os códons **(A, C, P)** e **MBFG VI** teve dominância apenas no mês de julho, sendo que o aumento da água esteve associado à compostos de carbono, pluviosidade, SRP, NO<sub>2</sub> e NO<sub>3</sub>. Assim as condições limnológicas e morfométricas observados nos lago estimularam a ocorrência de *Cryptomonas* spp, taxa com alta razão superfície/volume, altas taxas de crescimento, e uso eficiente de luz e absorção de nutrientes (Reynolds *et al.*, 2002; Reynolds, 2006).

A homogeneidade ambiental e maior estabilidade da coluna d'água na vazante refletiram na ocorrência de florações de cianobactérias heterocitadas formadas por *Dolichospermum* spp, organismos do códon **H1** e **MBFG III**. Além disso, os resultados da RDA indicam que os altos valores de biovolume desses organismos estão associados com maior temperatura da água (Temp) e maior concentração de (NT). Florações de *Dolichospermum* spp. (**GF H1 e MBFG III**) em períodos de menor volume de água também foram registrados em lagos de várzea em outros estudos (Mihaljević e Stević, 2011; Mihaljević *et al.*, 2013).

O códon do **GF H1 e MBFG III** inclui organismos constituídos por grandes filamentos e com crescimento lento, apresentam, alta razão S/V, filamentos com aerotopos, capacidade de controlar sua posição na coluna de água (Kruk *et al.*, 2010) que lhes dão tolerância à limitação de luz (Reynolds et., al 2002; Naselli-Flores e Barone, 2012). Além disso, algumas espécies desse grupo possuem células especializadas com capacidade de fixar nitrogênio (heterócitos), produção potencial de propágulos resistentes (hormogônio e acinetos) característica que oferece ao grupo capacidade de tolerância à baixas concentrações

de nitrogênio (Kruk, *et al.*, 2010). Filamentos maiores podem possuir diferentes estratégias adaptativas com maiores valores de turbidez e/ou ambientes mistos (Reynolds *et al.*, 2002).

Os táxons dos (**GFs K, M e MBFG VII**), nesse estudo foram caracterizado pela presença de organismos com mucilagem, juntamente com lipídios e aerótopos nas colônias maiores, que dão a este grupo a capacidade de controlar a flutuação e pode ser uma vantagem competitiva na disputa pelos recursos de luminosidade na coluna d'água. Além disso, a mucilagem nos indivíduos desse grupo é um traço morfofuncional que pode ajudar, mantendo o microambiente adequado para a célula. (Reynolds, 2006; Kruk *et al.*, 2010; Kruk & Segura 2012). A presença de vacúolos gasosos (aerótopes) está relacionada à flutuabilidade, que é regulada pela luz, por isso são mais flutuantes baixa intensidade de luz e menos flutuante em altas intensidades de luz (Walsby, 1994).

Nos períodos de vazante e águas baixas a redução do nível de água causa florescências de Cianobactérias em lagos tropicais rasos (Brasil *et al.*, 2016). Espécies d *Dolichospermum* spp. e *Microcystis* spp., são descritas como potencialmente tóxicas por Sant'anna e Azevedo (2000), Sant'anna *et al.*, (2008). Além disso, as cianobactérias podem ser responsável por inibir o crescimento de outros grupos de algas, como por exemplo as diatomáceas (Reynolds, 2006).

Como descritor da enchente e águas altas destacamos principalmente o **MBFG V** e os códons dos **GFs (W1, W2, X2, Ye L0)**, que nesse estudo foi constituído por um grupo que abrange uma variedade de organismos com estratégias diversas e apresentam média razão entre superfície e volume (S/V) (Kruk *et al.*, 2010). Também possuem flagelos que em conjunto com a razão S/V média reduz perdas por afundamento, além de conferir mobilidade, que lhes dão vantagem adaptativa na competição por nutrientes. ( Reynolds *et al.*, 2002; Kruk *et al.*, 2010). Padrões de composição como os descritos neste trabalho durante as mudanças hidrológicas tem sido documentado no Lago Bata por (Huszar & Reynolds 1997; Melo & Huszar, 2000), nas planícies inundáveis do Rio Paraná, na Argentina (García de Emiliani, 1997; Devercelli, 2006)

A Predominância de determinados (**GFs**) e (**MBFGs**) durante as mudanças hidrológicas indicaram que as condições ambientais, neste caso luz e nutrientes selecionaram grupos de espécies que compartilham características adaptativas semelhantes (Naselli-Flores e Barone, 2007), Porém, o estabelecimento de espécies do fitoplancton no hábitat, tanto no gradiente temporal como espacial, só ocorre se houver condições de sustentar os

requerimentos de crescimento e sobrevivência (Reynolds, 2002). Portanto o as condições do ambiente são segregadoras, separando espécies menos adaptadas há determinadas características do ambiente daquelas com adaptações e atributos para crescer e contribuir para com a maior fração da biomassa da comunidade e conseqüentemente serão dominantes (Reynolds, 2006).

## 7. CONCLUSÕES

Diferentes tipos variáveis ambientais durante o ano idrológico deste estudo, são responsáveis por relações significativas do fitoplâncton com o ambiente, e estas variações estão mais associadas com os fluxos de água no Lago Grande do Curuai, portanto aheterogeneidade ambiental decorrete das condições hidrológica (pulso de inundação) na escala temporal direciona as mudanças na composição e estrutura da Comunidade Fitoplanctônica.

Durante os hidroperíodo com efeito do pulso de inundação, o Lago Grande do Curuaí, apresentou Influências significativas principalmente da Precipitação, temperatura, turbidez, pH e COP sobre a estrutura e composição do Fitoplancton. Além disso, os resultados deste estudo confirmam que as Classes Taxonômicas, GFs GFBM estão fortemente relacionados com às características ambientais do Lago e refletem a capacidade dos diferentes grupos do fitoplâncton em responder de forma eficiente as mudanças de disponibilidade de recursos nesse sistemas ao longo do tempo. Os resultados de explicabilidade da variabilidade na relação comunidade-ambiente das 3 abordagens trabalhadas nesse estudo, revelam que a aplicação da Classificação GFBM é uma ferramenta útil na avaliação dos padrões ecológicos com robusta capacidade de expressar a dinâmica temporal da estrutura do fitoplâncton em neste lago de varzea. A Abordagem de Grupos funcionais Baseado na Morfologia (GFBM) fornece uma classificação relativamente simples e objetiva, recomendamos o uso desses grupos para estudar a ecologia do fitoplâncton em Lagos de várzea.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Affonso, A.; Barbosa, C.; Novo, E. 2011. Water quality changes in floodplain lakes as a function of the Amazon River flood pulse: Lago Grande de Curuaí (Pará). *Brazilian Journal of Biology*, v. 71 (3): 1–10
- Alcântara, E.; Novo, E.; Stech, J.; Lorenzetti, J.; Barbosa, C.; Assireu, A. e Souza, A. 2010. A contribution to understanding the turbidity behaviour in an Amazon floodplain, *Hydrology and Earth System Sciences* 14(2), 351-364.
- Almeida, F.F. e Melo, S. 2011. Phytoplankton community structure in an Amazon floodplain lake (Lago Catalão, Amazonas, Brazil). *Neotropical Biology and Conservation* 6(2):112-123.
- Alves, C. P. P. 2011. *A Dinâmica do Fitoplâncton em uma Várzea Amazônica – Variações Sazonal e Nictimeral (Várzea do Lago Grande de Curuaí – Pará, Brasil)*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Instituto de Ciências Biológicas, Goiânia, Goiás. 93pp.
- Alves-de-Souza, C.; Menezes, M. e Huszar, V. 2006. Phytoplankton composition and functional groups in a tropical humic coastal lagoon, Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, 20: p. 701–708.
- Barbosa, C. C. F.; Novo E. M. L. M., Melack J. M., Gastil-Buhl, M., and Waterloo W. P. 2010, Spatiotemporal patterns of limnological parameters on the Amazon floodplain, *Limnology*, 11(2), 155–166, doi:10.1007/s10201-009-0305-5.
- Barbosa, C.C.F., Novo, E. M. L. M.; Melack, J. M.; Freitas, R. M., and Filho, W. P. 2006. A methodology for analysis of volume and flooded area dynamics: Lago Grande de Curuaí Lago as an example. *Revista Brasileira de Cartografia* 58(3).
- Barbosa, L.G. 2009. *Estrutura, dinâmica e adaptações de comunidades de Desmidiás (Zygnemaphyceae) no período de cinco anos em dois lagos naturais (Parque Estadual do Rio Doce, MG): tendências em lago raso e profundo*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, 122pp.
- Becker, V., Huszar, V.L.M. e Crossetti, L.O. 2009b. Responses of phytoplankton functional groups to the mixing regime in a deep subtropical reservoir. *Hydrobiologia*, 628: p. 137–151.
- Becker, V.; Cardoso, L. e Huszar, V.L.M. 2009a. Diel variation of phytoplankton functional groups in a subtropical reservoir in southern Brazil during an autumnal stratification period. *Aquatic Ecology*, 43: p. 285–293.
- Becker, V.; Huszar, V.L.M.; Naselli-Flores, L. e Padisák, J. 2008. Phytoplankton equilibrium phases during thermal stratification in a deep subtropical water supply reservoir. *Freshwater Biology*, 53:952–963.



- Bicudo, C.E.M. e Menezes, M. 2006. *Gêneros de Algas de Águas Continentais do Brasil*. 2ª edição, São Carlos: Rima. 502 p.
- Bittencourt, M. M.; Amadio, S. A. 2007. Proposta para identificação rápida dos períodos hidrológicos em áreas de várzea Do Rio Solimões-Amazonas nas proximidades de Manaus. *Acta Amazonica* 37(2): 303-308.
- Bocard, D., Gillet, F. e Legendre, P. 2011. *Numerical Ecology with R*. Springer, Berlim. 305 p.
- Bonnet, M.P., Barroux, G., Martinez, J.M., Seyler, F., Moreira-Turcq, P., Cochonneau, G., Melack, J.M., Boaventura, G., Maurice-Bourgoin, L., León, J.G., Roux, E., Calmant, S., Guyot, J.L. e Seyler, P. 2007. Flooding hydrology in an Amazonian floodplain lake (Lago Grande de Curuai). *Journal of Hydrology*, 349(1-2): 18-30.
- Bonnet, M.P.; Barroux, G.; Seyler, P.; Peely, G.; Moreira-Turcq, P.; Lagane, C.; Cochonneau, G.; Viers, J.; Seyler, F.; Guyot, J.L. 2005. Seasonal links between the Amazon corridor and its flood plain: the case of the várzea of Curuai. *HIS Publ.* 294: 69-77.
- Bonnet, M.P.; Barroux, G.; Martinez, J.M.; Seyler, F.; Moreira-Turcq, P.; Cochonneau, G., Melack, J.M.; Boaventura G.; Maurice-Bourgoin, L.; Leon J.G.; Roux E.; Calmant, S.; Kosuth, P.; Guyot, J.L. e Seyler, P. 2008. Floodplain hydrology in an Amazon floodplain lake (Lago Grande de Curuai'). *Journal of Hydrology* 349: 18– 30.
- Bortolini, J. C., Moresco, G. A., Paula, A. C. M., Jati, S. and Rodrigues, L. C. 2016. Functional approach based on morphology as a model of phytoplankton variability in a subtropical floodplain lake: a long-term study. *Hydrobiologia*, 767: 151–163.
- Bouvy, M.; Nascimento, S.M.; Molica, R.J.R. e Ferreira, A. 2003. Limnological features in Tapacurá reservoir (northeast Brazil) during a severe drought. *Hydrobiologia*, 493:115–130.
- Bovo-Scomparin, V.M. e Train, S. 2008. Long-term variability of the phytoplankton community in an isolated floodplain lake of the Ivinhema River State Park, Brazil. *Hydrobiologia*, 610:331–344
- Bozelli, R. L., Thomaz, S.M., Padial, A.A., Lopes, P.M. and Bini, L.M. 2015. Floods decrease zooplankton beta diversity and environmental heterogeneity in an Amazonian floodplain system. *Hydrobiologia*, 753(1), 233-241. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-015-2209-1>.
- Brasil, J.; Attayde, J. L. Vasconcelos, F.R., Dantas, D.D.F., Huszar, V.L.M., 2016. Droughtinduced water-level reduction favors cyanobacteria blooms in tropical shallow lakes. *Hydrobiologia* 770, 145–164. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2578-5>.
- Buchheim, M., Buchheim, J., Carlston, T., Braband, A., Hepperle, D., Krienitz, L. Hegewald, E. e Wolf, M. 2005. Phylogeny of the Hydrodictyaceae (Chlorophyceae): Inferences From rDNA Data. *Journal Phycology* 41:1039-1054

- Casali, S.; Calijuri, M. C.; Barbarisi, B.; Renó, V.F.; Affonso, A.G.; Barbosa, C.; Silva, T.S.F. e Novo, E.M.L.M. 2011. Impact of the 2009 extreme water level variation on phytoplankton community structure in lower Amazon floodplain lakes. *Acta Limnologica Brasiliensia* 23:260-270.
- Cordeiro, R. C., B. Turcq, K. Suguio, A. Oliveira da Silva, A. Sifeddine, and C. Volkmer-Ribeiro. 2008. Holocene fires in East Amazonia (Carajás), new evidences, chronology and relation with paleoclimate. *Glob. Planet. Change* 61: 49–62.
- Costa, L.S.; Huszar, V.L.M. e Ovale, A.R. 2009. Phytoplankton Functional Groups in a Tropical Estuary: *Hydrological Control and Nutrient Limitation*. *Estuaries and Coasts*, 32:508–521.
- Crossetti, L.O. e Bicudo, C.E.M. 2005. Structural and functional phytoplankton responses to nutrient impoverishment in mesocosms placed in a shallow eutrophic reservoir (Garça Pond), São Paulo, Brazil. *Hydrobiologia*, 541:71–85.
- Crossetti, L.O. e Bicudo, C.E.M. 2008a. Phytoplankton as a monitoring tool in a tropical urban shallow reservoir (Garças Pond): The assemblage index application. *Hydrobiologia*, 610:161–173.
- Crossetti, L.O. e Bicudo, C.E.M. 2008b. Adaptations in phytoplankton life strategies to imposed change in a shallow urban tropical eutrophic reservoir, Garças Reservoir, over 8 years. *Hydrobiologia*, 614:91–105.
- Devercelli, M. 2010 Changes in phytoplankton morphofunctional groups induced by extreme hydroclimatic events in the Middle Paraná River (Argentina). *Hydrobiologia*, 639: (1), 5-19. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-009-0020-6>.
- Devercelli, M., 2006. Phytoplankton of the Middle Paraná River during an anomalous hydrological period: a morphological and functional approach. *Hydrobiologia* 563, 465–478. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0036-0>.
- Domitrovic, Y. Z. 2003. Effect of fluctuation in water level of phytoplankton development in three lakes of the Paraná River floodplain (Argentina). *Hydrobiologia* 510:175-193.
- Esteves, F. A. (Org.). 2011. *Fundamentos de Limnologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, v. 1. 790p.
- Fonseca, B.M. e Bicudo, C.E.M. 2008. Phytoplankton seasonal variation in a shallow stratified eutrophic reservoir (Garças Pond, Brazil). *Hydrobiologia*, 600: 267-282, <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-007-9240-9>.
- Forsberg, B.R.; Devol, A.H.; Richey, J.E.; Martinelli, L.A.; Dos Santos, H. 1988. Factors controlling nutrient concentrations in Amazon floodplain lakes. *Limnology and Oceanography*, 33(1): 41-56.
- Garcia-de-Emiliani, M.O. 1993. Seasonal succession of phytoplankton in a lake of the Paraná River floodplain, Argentina. *Hydrobiologia* 264:101-114.

Garcia-de-Emiliani, M.O. 1997. Effects of water level fluctuations on phytoplankton in a river-floodplain lake system (Paraná River, Argentina). *Hydrobiologia* 357:1-15.

Gemelgo, M.C.P.; Mucci, J.L.N. e Navas-Pereira, D. 2009. Population dynamics: seasonal variation of phytoplankton functional groups in Brazilian reservoirs (Billings and Guarapiranga, São Paulo). *Brazilian Journal of Biology*, 69:1001–1013.

Granado, D. C; Henry, R. 2008. The influence of the hydrologic pulse on the water physical and chemical variables of lateral lakes with different connection levels to Paranapanema Rivers in the mouth zone at Jurumirim Reservoir (São Paulo). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 20: 265-275.

Grime, J.P. 1979. *Plant strategies and vegetation process*. Chichester, New York: John Wiley.

Hillebrand, H.; Dürselen, C.; Kirschtel, D.; Pollinger U. e Zohary, T. 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*, 35:403–424.

Huszar, V.L.M. 1996 Planktonic algae, other than the desmids, of three Amazonian systems (Lake Batata, Lake Mussurá and Trombetas River), Pará, Brasil. *Amazoniana*. 14(1 e 2): 37 – 73.

Huszar, V.L.M. e Reynolds, C.S. 1997. Phytoplankton periodicity and sequences of dominance in on Amazonian flood-plain lake (Lago Batata, Pará, Brazil): responses to gradual environmental change. *Hydrobiologia*, 346:169–181.

Huszar, V.L.M.; Silva, L.H.S.; Marinho, M.; Domingos, P. e SANT'Anna, C.L. 2000. Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical Brazilian waters. *Hydrobiologia*, 424: 67-77, <http://dx.doi.org/10.1023/A:1003996710416>

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

Junk W.J. e Wantzen K.M. 2003 The Flood Pulse Concept: New Aspects, Approaches and Applications - An Update, p. 117-140. In: Abell, R.; Thieme, M. e Brenner, B. *L Proceedings of the second international Symposium on the Management of Large Rivers For fisheries*. Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand Volume 2. 285p

Junk, W. J.; Piedade, M. T. F.; Lourival, R.; Wittmann, F; Kandus, P.; Lacerda, L. D.; Bozelli, R. L.; Esteves, F. A.; Nunes da Cunha, C.; maltchik, L.; schöngart, J.; Schaeffernovelli, Y.; Agostinho, A. A.; Nóbrega, R. L. B.; Camargo, E. Definição e Classificação das Áreas Úmidas (AUs) Brasileiras: Base Científica para uma Nova Política de Proteção e Manejo Sustentável. In: Nunes da Cunha, C.; Piedade, M. T. F.; Junk, W. J. (Org.) *Classificação e Delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e de seus Macrohabitats*. Cuiabá: Ed. UFMT, 2015. p. 13-82.

Junk, W.J., Piedade, M.T.F., Schongart, J. and Wittmann, F., 2012. A classification of major natural habitats of Amazonian white-water river floodplains (várzeas). *Wetlands Ecology and Management*, vol. 20, no. 6, pp. 461-475. <http://dx.doi.org/10.1007/s11273-012-9268-0>.

Junk, W.J.; Bayley, P.B. e Sparks, R.E. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Journal of Fishers and Aquatic*, 106: 110-127.

Junk, W.J.; Piedade, M.T.F.; Schöngart, J.; Cohn-Haft, M.; Adeney, J.M.; Wittmann, F. 2011. A Classification of major naturally occurring amazonian lowland wetlands. *Wetlands*, 31: 623–640.

Komárek J. e Anagnostidis K. (2008): Cyanoprokaryota 1: *Chroococcales*. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa Freshwater Flora of Central Europe, Spektrum Akademischer*, Büdel, B.; Gärtner, G.; Krienitz, L. e Schagerl, M. (eds.). Verlag, Band 19, Teil 2, Hälfte 1, p. 1- 1548.

Komárek J., Fott B. 1983. *Chlorophyceae* (Grünalgen), Ordnung *Chlorococcales*. In: *Das Phytoplankton des Süßwassers, Die Binnengewässer, Schweizerbart Verlag*, (Huber-G. Pestalozzi, ed). Stuttgart, Band 16, Teil 7, Hälfte 1, p.1-1044.

Komárek, J. 2013. Cyanoprokaryota 3: Heterocytous Genera. In *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, (B. Budel, G. Gärtner, L. Krienitz, M. Schagerl, ed.). Spektrum Akademischer Verlag, Band 19, Teil 3, p. 1-1130.

Komárek, J. e Anagnostidis, K. 1998. Cyanoprokaryota I. Teil Chroococcales. In *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. (H. Ettl, G. Gärtner, H. Heynig e D. Mollenhauer, eds.). G. Fischer, Verlag Jena.

Komárek, J. e Anagnostidis, K. 2005. Cyanoprokaryota II. Teil Oscillatoriales. In *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. (B. Büdel, L. Krienitz, G. Gärtner e M. Schagerl, eds.). Elsevier GmbH, München.

Köppen, W.; Geiger, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

Kruk C., Mazzeo N., Lacerot G. e Reynolds CS (2002). esquemas de classificação para fitoplâncton: a validação local de uma abordagem funcional para a análise das espécies de substituição temporal. *Journal of Plâncton Research* 24, 901-912. <https://doi.org/10.1093/plankt/24.9.901>

Kruk, C. e Segura, A.M. 2012. The habitat template of phytoplankton morphology-based functional groups. *Hydrobiologia*, vol. 698(1): 191-202. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-012-1072-6>

Kruk, C.; Huszar, V.L.M.; Peeters, E.H.M.; Bonilla, S.; Costa, L.; Lurling, M.; Reynolds, C.S. e Scheffer, M. 2010. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology*, vol. 55, no. 3, p. 614-627. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02298.x>

Lopes, M.R.M.; Bicudo, C.E.M. e Ferragut, M.C. 2005. Short term spatial and temporal variation of phytoplankton in a shallow tropical oligotrophic reservoir, southeast Brazil. *Hydrobiologia*, 542:235–247.

- Lund, J.W.G.; Kipling, C. e Le Cren, E.D. 1958. The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimation by counting. *Hydrobiologia*, 11:143–170.
- Maurice-Bourgoin L., M.P. Bonnet, J.M. Martinez, P. Kosuth, G. Cochonneau, P. Moreira Turcq, J.L. Guyot, P. Vauchel, N. Filizola and P. Seyler. 2007. Temporal dynamics of water and sediment exchanges between the Curuaí floodplain and the Amazon River main stream, Brazil. *J. Hydrol.* 335: 140-156.
- Mcardle BH & Anderson MJ (2013). Modelos multivariados de montagem para os dados da Comunidade: *Um comentário sobre a Análise Redundância Baseada em Distância*. 82, 290-297. <https://doi.org/10.2307/2680104>
- Melo, S. e Huszar, V.L.M. 2000. Phytoplankton in an Amazonian floodplain lake (Lago Batata, Brasil): Diel variation and species strategies. *Journal of Plankton Research*, 22:63–76.
- Melo, S; Huszar, V.L.M; Roland, F; Esteves, F. A. e Bozelli, R. 2004. Phytoplankton diel variation and vertical distribution in two Amazonian floodplain lakes (Batata lake and Mussurá lake, Pará, Brasil) with different mixing regimes. *Amazoniana*, 18 (1/2):1-10.
- Mihaljević, M., Špoljarić, D., Stević, F., Pfeiffer, T.Ž., 2013. Assessment of flood-induced changes of phytoplankton along a river–floodplain system using the morpho-functional approach. *Environ. Monit. Assess.* 185, 8601–8619.
- Mihaljević, M., Stević, F. 2011. Cyanobacterial blooms in a temperate river-floodplain ecosystem: the importance of hydrological extremes. *Aquat. Ecol.* 45, 335–349.
- Miranda, E. C. A. O. 2013. *Influência do Pulso de Inundação do Rio Solimões sobre os Processos Geoquímicos e Comunidade Fitoplanctônica do Lago Janauacá, Amazonas, Brasil*. Tese (Doutorado). Universidade Nacional de Brasília, Instituto de Geociência, Brasília, DF. 125p.
- Moreira-Turcq P.; Bonnet M.-P.; Amorim M.; Bernardes M.; Lagane C. e Maurice L.(2013). Seasonal variability in concentration, composition, age, and fluxes of particulate organic carbon exchanged between the floodplain and Amazon River. *Global Biogeochem. Cycl.* 27: 119–130
- Moreira-Turcq, P.; Bonnet, M. P.; Amorim, M.; Bernardes, M.; Lagane, C.; Maurice, L.; Perez, M.; Seyler, P. 2013. Seasonal variability in concentration, composition, age, and fluxes of particulate organic carbon exchanged between the floodplain and Amazon River. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 27, p. 119-130.
- Moreira-Turcq, P.; Jouanneau, J. M.; Turcq, B.; Seyler, P.; Weber, O. e Guyot, J. L. 2004. Carbon sedimentation at Lago Grande de Curuai, a floodplain Lake in the low Amazon Region: insights into sedimentation rates. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 214(1-2): 27-40.

- Moura, A.N.; Bittencourt-Oliveira, M.C.; Dantas, E.W. e Arruda Neto, J.D.T. 2007. Phytoplanktonic associations: A tool to understanding dominance events in a tropical Brazilian reservoir. *Acta Botanica Brasiliensis*, 21:641–648.
- Nabout, J. C.; Nogueira, I. S. e Oliveira, L. G. Estrutura de populações de fitoflagelados nas lagoas de inundação do rio Araguaia, Brasil. *Acta Bot. Bras.* [online]. 2009, vol.23, n.1, pp.67-72. ISSN 0102-3306. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062009000100008>.
- Nabout, J.C. e Nogueira, I. 2007. Spatial and temporal dynamics of phytoplankton functional group in a blocked valley (Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensis*, 19:305–314.
- Nabout, J.C.; Nogueira, I.S. e Oliveira, L.G. 2006. Phytoplankton community of floodplain lakes of the Araguaia River, Brazil, in the rainy and dry seasons. *Journal of Plankton Research*, 28:181–193.
- Naeem, S. e Wrigh, P. 2003. Disentangling biodiversity effects on ecosystem functioning: deriving solutions to a seemingly insurmountable problem. In: *Ecology Letters*, 6: 567 – 579.
- Naselli-Flores L, Barone R. 2007. Pluriannual morphological variability of phytoplankton in a highly productive Mediterranean reservoir (Lake Arancio, Southwestern Sicily). *Hydrobiologia*; 578: 87-95.
- Neiff, J.J. 1990. Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. *Interciencia*, 15 (6): 424-441.
- Neiff, J.J. e Poi de Neiff, A.S.G. 2003. Connectivity processes as a basis for the management of aquatic plants. In: *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas*. (S. M. Thomaz e L. M. Bini, eds.). EDUEM, Maringá. p.39-58.
- Nogueira, I. S.; Nabout, J. C.; Ibañez, M. S. e Borgoin, L. M. 2010. Determinants of beta diversity: the relative importance of environmental and spatial processes in structuring phytoplankton communities in an Amazonian floodplain. *Acta Limnologica Brasiliensis*. 22, (3), p. 247-256.
- Oksanen, J.; Blanchet, F.G.; Kindt, R.; Legendre, P.; Minchin, P.R.; O'Hara, R.B.; *et al.*, 2013. *Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.0-8*. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Oliveira, M.D. e Calheiros, D.F. 2000. Flood pulse influence on phytoplankton communities of the south Pantanal floodplain, Brazil. *Hydrobiologia* 427: 101-112.
- Padisák, J.; Crossetti, L.O. e Naselli-Flores, L. 2009. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia*, 621:1–19.
- Putz, R.; Junk, W. J. (1997), Phytoplankton and periphyton. In: *The Central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system*. Springer Verlag., Berlin.

R Core Team (2014). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

Rangel, L.M.; Silva, L.H.S.; Arcifa, M.S. e Peticarrari, A. 2009. Driving forces of the diel distribution of phytoplankton functional groups in a shallow tropical lake (Lake Monte Alegre, Southeast Brazil). *Brazilian Journal of Biology*, 69: p.75–85.

Reviere, B. 2006. *Biologia e filogenia das águas*. Porto Alegre: Artemed. 280p.

Reynolds, C., Huszar, V., Kruk C., Naselli-Flores, L. e Melo, S. 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, 24: 417-428.

Reynolds, C.S. 2006. *The ecology of phytoplankton*. Cambridge: Cambridge University Press. 552pp.

Round, F.E. 1971. The taxonomy of the Chlorophyta II. *British Phycological Journal* 6:235-264.

Round, F.E., Crawford, R.M. e Mann, D.G. 1990. The diatoms: biology and morphology of the genera. *Cambridge*: Cambridge University Press.

Ryabov AB, Rudolf L. e Blasius B. 2010. A distribuição vertical e composição de fitoplâncton sob a influência de uma camada de mistura superior. *Journal of Theoretical Biology* 263, 120-133. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2009.10.034>

Salmaso, N. e Padisák, J. 2007. Morpho-functional groups and phytoplankton development in two deep lakes (Lake Garda, Italy and Lake Stechlin, Germany). *Hydrobiologia* 578: 97–112.

Sant'Anna, C.L.; Tucci, A.; Azevedo, M.T.P.; Melcher, S.S.; Werner, V.R.; Malone, C.F.S.; Rossini, E.F.; Jacinavicius, F.R.; Hentschke, G.S.; Osti, J.A.S.; Santos, K.R.S.; Gama-Júnior, W.A.; Rosal, C. e Adame, G. 2012. *Atlas de cianobactérias e microalgas de águas continentais brasileiras*. Publicação eletrônica, Instituto de Botânica, Núcleo de Pesquisa em Ficologia. [www.ibot.sp.gov.br](http://www.ibot.sp.gov.br)

Silva, C.A.; Train, S. e Rodrigues, L.C. 2005. Phytoplankton assemblages in a Brazilian subtropical cascading reservoir system. *Hydrobiologia*, 537:99–109.

Simões, N. R., Lansac-Tôha, F. A. e Bonecker, C. C. 2013. Drought disturbances increase temporal variability of zooplankton community structure in floodplains. *Hydrobiology*, 98: 24-33.

Sioli, H. 1985. *Amazônia: Fundamentos da Ecologia da Maior Região de Florestas Tropicais*. Rio de Janeiro: Vozes.

Soares, M.C.S.; Huszar, V.L.M. e Roland, F. 2007. Phytoplankton dynamics in two tropical rivers with different degrees of human impact (Southeast Brazil). *River Research and Applications*, 23: 698–714.

Souza, M.B.G.; Barros, C.F.A.; Barbosa F.; Hajnal, E. e Padisák, J. 2008. Role of atelomixis in phytoplankton assemblages' replacement in Dom Helvécio Lake, South-East Brazil. *Hydrobiologia*, 607: 211–224.

Taniguchi, G.M.; Bicudo, D.C. e Senna, P.A.C. 2005. Gradiente litorâneo-limnético do fitoplâncton e ficoperifíton em uma lagoa da planície de inundação do Rio Mogi-Guaçu. *Revista Brasileira de Botânica* 28:137-147.

Train, S. e Rodrigues, L.C. 1997. Distribuição espaçotemporal da comunidade fitoplanctônica. *In* A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos (A.E.A.M. Vazzoler; A.A. Agostinho e N.S. Hahn ed.). Maringá, EDUEM. p. 105-116.

Uhelinger, V. 1964. Étude statistique des methodes de dénombrement planctonique. *Arch. Sci.* 17(2):121-223.

Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 9: 1–38.

van-den-Hoek, C., Mann, D.G. & Janhs, H.J.A. 1995. *An Introduction to Phycology*. University of Cambridge Press, Cambridge.

Walsby, A.E., 1994. Gas vesicles. *Microbiol. Rev.* 58, 94–144.

Yamaguchi T., Tsuchiya T., S. Nakahara, Fukui A., Nagamoto Y., Murotani K., *et al.*, (2016). Eficácia de Left Atrial Tensão com base em cateteres de ablação da fibrilação atrial persistente. *Journal of electrophysiology* 27 cardiovascular, 1055-1063. <https://doi.org/10.1111/jce.13019>

Yang, J., Lv, H., Yang, J., Liu, L.M., Yu, X.Q., Chen, H.H., 2016. Decline in water level boosts cyanobacteria dominance in subtropical reservoirs. *Sci. Total Environ.* 557, 445–452.

Zar, J.H. 2010. *Biostatistical Analysis*. 5th Edition, Prentice-Hall/Pearson, Upper Saddle River, xiii, 944 p



## 9. APÊNDICE: PRANCHA/ORGANISMOS FITOPLANCTÔNICOS

**APÊNDICE A:** Principais representantes do fitoplancton no lago Grande de Curuai, PA. Figs. **A.** *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen; **B.** *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* (O.Müll.) Simonsen; **C.** *Aulacoseira herzogii* (Lemmermann) Simonsen; **D.** *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen; **E.** *Cryptomonas brasiliensis* (A.Castro, C.Bicudo e D.Bicudo); **F.** *Aphanocapsa delicatissima* W.West e G.S.West; **G.** *Dolichospermum circinale* (Rabenhorst ex Bornet et Flahault); **H.** *Dolichospermum flos-aquae* (Brébisson ex Bornet. et Flahault); **I.** *Dolichospermum planctonicum* (Brunnthaler) Wacklin, L.Hoffmann e Komárek; **J.** *Oscillatoria* cf. *perornata* Skuja - Escala= 10µm

